



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

**Evaluación y selección de germoplasma nativo y/o naturalizado para  
cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento:  
avances en los aportes de servicios ecosistémicos  
para el desarrollo de ciudades resilientes**

**CÁCERES, NATALIA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE DOCTORA  
EN CIENCIAS AGRARIAS**

**DIRECTORA: DRA. IMHOF, LELIA  
CO-DIRECTOR: DR. GALETTO, LEONARDO**

---

**“EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE GERMOPLASMA NATIVO Y/O  
NATURALIZADO PARA CUBIERTAS VEGETADAS DE BAJO  
MANTENIMIENTO:  
avances en los aportes de servicios ecosistémicos  
para el desarrollo de ciudades resilientes”**

Natalia Cáceres

Licenciada en Gestión Ambiental - Universidad Blas Pascal

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en esta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en plantas nativas y/o naturalizadas para cubiertas vegetadas, durante el período comprendido entre 2016 a 2020, bajo la dirección de Lelia Imhof y Leonardo Galetto.

Nombre y firma del Doctorando:

Natalia Cáceres



Nombre y firma del director:

Lelia Imhof

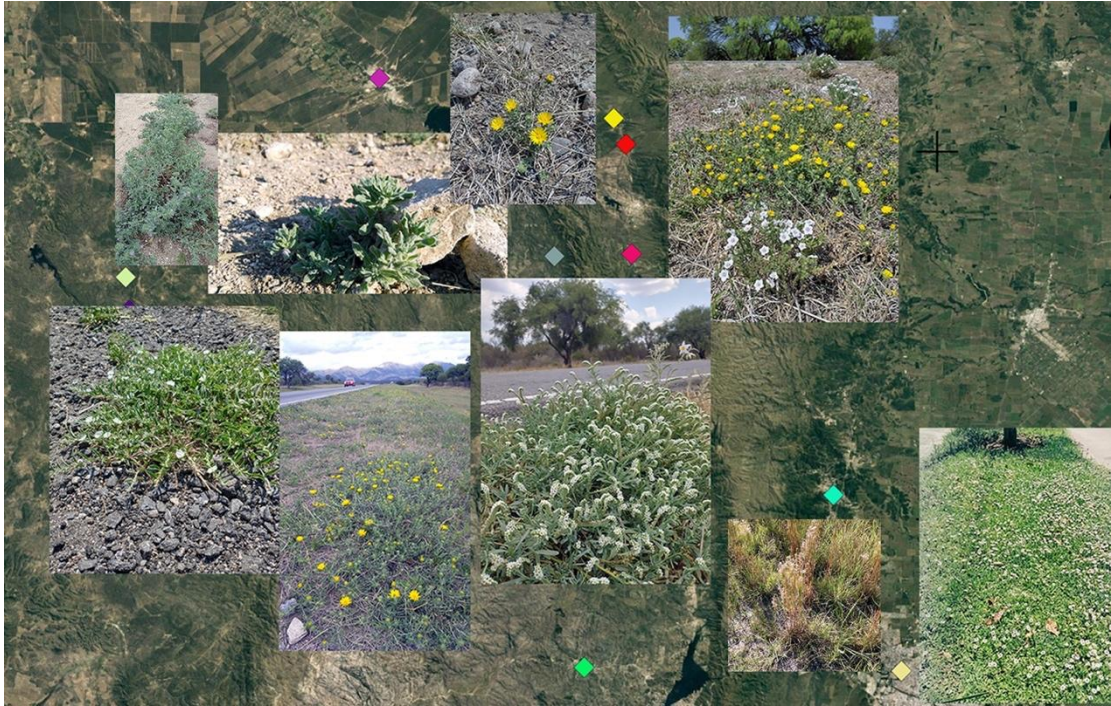


Nombre y firma del Co-director:

Leonardo Galetto



Defendida: 13 de julio de 2023.



*“Lo importante no son las cosas,  
sino los puentes que unen a las cosas”*

*Saint-Exupéry*

---

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mis directores de Tesis. A la Dra. Lelia Imhof, por abrirme las puertas de su laboratorio y ofrecerme la oportunidad y elección de trabajar sobre este tema de investigación. Agradezco por ser guía en este proceso, por su flexibilidad, por sus palabras de motivación ante cualquier obstáculo que se presentara. Al Dr. Leonardo Galetto por ser guía en este camino, por su predisposición y reflexiones, por la confianza que tuvo en mi y sus palabras de aliento para seguir adelante.. Agradezco a mis compañeros de equipo, al Dr. Mario Suárez, al Ing. Emmanuel Hick, y a la Mg. Ing. Evangelina Matoff, quienes pusieron el esfuerzo necesario para poder llevar a cabo la construcción y puesta a punto de los ensayos, por los momentos compartidos y sus consejos. Agradezco al Dr. Esteban Badariotti por sus consejos y charlas.. Agradezco a la Dra. Graciela Bollati por abrirnos la puerta del Laboratorio de Forrajes en la Universidad Católica de Córdoba. Un agradecimiento especial al Dr. Federico Robbiati, quién ha sido de gran apoyo no sólo en lo académico, sino también por su predisposición y escucha. Quisiera también agradecer a la Dra. María Elena Vazquez Novoa, con quien he compartido los primeros pasos de esta Tesis. A Nathi, Daia, Pablo, Martín, Gastón por su tiempo en la toma de datos, además de la amistad compartida..

Agradezco a las Instituciones: Universidad Católica de Córdoba por brindarme el espacio del lugar de trabajo para poder realizar los diferentes ensayos de la Tesis; al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por haberme brindado la oportunidad de acceder a una beca para poder llevar a cabo mi doctorado; al Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal; a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Córdoba; al Instituto de Floricultura del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; a la Cátedra de Espacios Verdes de la Universidad Nacional de Cuyo, por brindarme espacios de formación.

Quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario por haberme aceptado como estudiante de doctorado.

Un agradecimiento especial a los tres evaluadores, Dra. Facciuto, Dr. Crespo y Dr. Marinangeli, por su buena predisposición y respectivas devoluciones, las cuales considero han mejorado en gran medida la redacción del manuscrito de esta Tesis doctoral, y a partir de las cuales surgen nuevas preguntas y reflexiones para seguir investigando en estos increíbles sistemas vivos.

---

## **DEDICATORIA**

Ante todo quisiera agradecer y dedicar mi trabajo de Tesis a mis padres, Cristina y Alfredo. Este esfuerzo es parte de ellos. Sin su amor y apoyo incondicional no hubiese sido posible llegar hasta aquí... gracias por estar siempre a mi lado.. Por despertarme el sentido de la curiosidad y ser mis promotores de inspiración y guía.. A mi mamá, por ser de fierro y consejera, por acompañarme a las salidas de campo, sin importar ni la hora ni el día. A mi papá por todos sus consejos, su motivación y ayuda ante cualquier duda que surgiera. A mis hermanos Sebastián y Gonzalo, a mi sobrino Jeremías, y mi prima-hermana Aransa, por su amor y ser incondicionales.

Dedico esta tesis con una gran emoción a mis amigas y amigos, los que están cerca y los que están lejos, por sus largas escuchas y consejos.. a los profes y compañeros de la TUJyF, gracias a todos por su apoyo constante.. A mi compañera Anita, por enseñarme a mirar los días de cara al sol, por contagiarme una sonrisa en momentos difíciles, por compartir el cuidado de la vida, por su amor y paz-ciencia...

... y a todas las personas que de alguna manera han estado presente en este largo camino recorrido...

A todos ellas, gracias.

---

## Publicaciones y Presentaciones a Congresos, Jornadas Científicas y Técnicas

**Cáceres, N.;** Imhof, L.; Suárez, M.; Hick, E.C.; y Galetto, L. (2018). Assessing native germplasm for extensive green roof systems of semiarid regions. *Ornamental Horticulture*, 24(4) 466-476. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v24i4.1225>

**Cáceres, N.;** Robbiati, F.O.; Hick, E.C.; Suárez, M.; Matoff, E.; Galetto, L.; y Imhof, L. (2022). Analysis of biodiversity attributes for extensive vegetated roofs in a semiarid region of central Argentina. *Ecological Engineering*, 178, 106602. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106602>

**Cáceres, N.** (2016, 29 de noviembre). “Plantas nativas para cubiertas vegetadas extensivas”. X Jornadas Demostrativas de Plantas Nativas con Interés Ornamental. II Jornadas de Tecnologías para la Intervención de Paisajes Urbanos. Área de Cultivos Ornamentales de la Universidad Católica de Córdoba.

**Cáceres, N.;** Suárez, M.; Hick, E.; Matoff, E.; Galetto, L.; y Imhof., L. (2017, del 6 al 9 de septiembre). “Recolección y domesticación de distintas especies nativas con potencial de uso para cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento”. V Congreso Nacional de Flora Nativa. Universidad de La Serena. Chile.

**Cáceres, N.;** Suárez, M.; Hick, E.; Galetto, L.; y Imhof, L. (2017, del 17 al 22 de septiembre). “Evaluación y selección de plantas nativas con potencial de uso para cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento”. XXXVI Jornadas Argentinas de Botánica. Facultad de Ciencias Agrarias, UNCu. Mendoza, Argentina.

**Cáceres, N.;** Galetto, L.; Hick, E.; Suárez, M.; Matoff, E.; Robbiati, F.O.; y Imhof, L. (2021, 19 y 20 de agosto). “Desempeño de microcosmos biodiversos para cubiertas vegetadas extensivas del semiárido de Argentina”. III Jornadas de Investigaciones UVA Agronomía, Agroindustrias, Enología y Alimentos.

**Cáceres, N.;** Hick., E.C.; y Robbiati, F.O. 2021. X Jornada de las Ciencias Agropecuarias. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. “Cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento para la zona semiárida del centro de Argentina”. 28 de agosto, 2021.

---

## ÍNDICE

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	XIV
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Soluciones basadas en la naturaleza como aporte a la sustentabilidad y resiliencia urbana	5
1.2 Cubiertas vegetadas: definición, tipos y beneficios	8
1.2.1 Tipos de cubiertas vegetadas	8
1.2.1.1 Cubiertas vegetadas intensivas	8
1.2.1.2 Cubiertas semi intensivas	9
1.2.1.3 Cubiertas vegetadas extensivas	10
1.2.2 Servicios ecosistémicos asociados a las cubiertas vegetadas e incentivos para su aplicación en nuestra región	11
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Estructura del trabajo de Tesis	15
2. PLANTAS NATIVAS Y/O NATURALIZADAS CON POTENCIAL DE USO EN CUBIERTAS VEGETADAS EXTENSIVAS PARA REGIONES SEMIÁRIDAS DEL CENTRO DE ARGENTINA	17
2.1 Introducción	17
2.1.1 Cubiertas vegetadas extensivas: un desafío para la capa vegetal. Enfoques de búsqueda y selección de especies	17
2.1.2 Plantas nativas para el diseño de cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento de regiones semiáridas	20
2.1.3 Caracterización bioclimática de la región central de Argentina	22
2.2 Hipótesis	25
2.3 Objetivos	25
2.4 Materiales y Métodos	25
2.4.1 Exploración y recolección de material vegetal	25

---

2.4.2 Identificación taxonómica de las especies recolectadas . . . . .	27
2.4.3 Construcción de ensayo de cubierta vegetada extensiva en condiciones de Monocultivo . . . . .	28
2.4.3.1 Sistema modular de cubierta vegetada de tipo extensivo . . . . .	29
2.4.4 Indicadores de desempeño vegetal	31
2.4.4.1 Apariencia visual	32
2.4.4.2 Supervivencia	33
2.4.4.3 Cobertura vegetal	33
2.4.5 Criterios de selección por desempeño de especies nativas y/o naturalizadas con potencial de uso en cubiertas vegetadas extensivas	33
2.5 Resultados	34
2.5.1 Recolección de especies nativas de la provincia de Córdoba	34
2.5.2 Evaluación del desempeño de monocultivos en condiciones experimentales de cubiertas vegetadas extensivas	41
2.5.2.1 Apariencia visual, período de floración, capacidad de resiembra y rebrote	41
2.5.2.2 Supervivencia	46
2.5.2.3 Cobertura vegetal	47
2.5.2.4 Curvas de modelos de crecimiento de las especies seleccionadas por desempeño	48
2.6 Discusión	50
2.7 Conclusión	53
3 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO VEGETAL DE MICROCOSMOS POLI- ESPECÍFICOS EN CUBIERTAS VEGETADAS EXTENSIVAS	54
3.1 Introducción . . . . .	54
3.2 Hipótesis de trabajo . . . . .	56
3.3 Objetivo . . . . .	56
3.4 Materiales y Métodos . . . . .	56
3.4.1 Construcción de ensayo de CVE. Nuevo sistema modular de cubierta vegetada extensiva . . . . .	58
3.4.2 Caracterización del desempeño vegetal en en microcosmos poli-específicos . .	60
3.4.3 Diseño experimental . . . . .	61
3.4.4 Indicadores de desempeño vegetal . . . . .	64

---

3.4.4.1 Desempeño por cobertura vegetal por microcosmos e individual por especie	64
3.4.4.2 Desempeño de supervivencia por microcosmos e individual por especie . . . .	65
3.4.5 Análisis de datos . . . . .	66
3.5 Resultados . . . . .	67
3.5.1 Dinámica entre la cobertura vegetal y supervivencia por microcosmos . . . . .	67
3.5.2 Modelos de regresión lineal para cobertura vegetal y supervivencia . . . . .	69
3.5.3 Evaluación de la cobertura vegetal individual por especie . . . . .	70
3.5.4 Evaluación de la supervivencia individual por especie	72
3.6 Discusión . . . . .	74
3.7 Conclusión . . . . .	76
4 ANÁLISIS A ESCALA REAL DE ATRIBUTOS DE DIVERSIDAD PARA CUBIERTAS VEGETADAS EXTENSIVAS . . . . .	77
4.1 Introducción . . . . .	77
4.2 Hipótesis . . . . .	80
4.3 Objetivos . . . . .	80
4.4 Materiales y Métodos . . . . .	81
4.4.1 Construcción de cubierta vegetada extensiva a escala real . . . . .	81
4.4.2 Material vegetal para la evaluación de atributos de diversidad . . . . .	82
4.4.3 Diseño experimental . . . . .	83
4.4.4 Diversidad funcional: caracteres foliares y altura de planta . . . . .	86
4.4.5 Indicadores de desempeño vegetal . . . . .	87
4.4.5.1 Cobertura vegetal y dinámica de cobertura vegetal por microcosmos . . . . .	87
4.4.5.2 Supervivencia por microcosmos . . . . .	88
4.4.5.3 Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas: selección de microcosmos . . . . .	88
4.4.6 Análisis de datos . . . . .	89
4.5 Resultados . . . . .	90
4.5.1 Caracterización por grupos funcionales . . . . .	90
4.5.2 Desempeño por supervivencia . . . . .	94
4.5.3 Desempeño por cobertura vegetal . . . . .	96
4.5.4 Relación entre atributos de diversidad (Composición, estructura, grupos Funcionales) y desempeño vegetal . . . . .	98

---

4.5.5 Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas: selección de microcosmos .....	99
4.6 Discusión .....	100
4.6.1 Nivel funcional .....	100
4.6.2 Desempeño vegetal .....	102
4.7 Conclusión .....	106
5 DISCUSIÓN GENERAL Y CONSIDERACIONES FINALES .....	107
BIBLIOGRAFÍA .....	114
SITIOS WEB CONSULTADOS .....	143
ANEXOS .....	147
I .....	147
II .....	148
III .....	166
IV .....	179

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Imagen aérea del ejido municipal de la ciudad de Córdoba . . . . .	3
1.2 (a) Imagen satelital de las variaciones espaciales de la abundancia de vegetación dentro de la ciudad de Córdoba (b) Imagen termográfica de la distribución de la temperatura de la ciudad de Córdoba . . . . .	4
1.3 Evolución de la intensidad de la ICU nocturna del ejido municipal de Córdoba	5
1.4 Tipos de SbN . . . . .	7
1.5 Ejemplo de cubierta vegetada intensiva de la ciudad de Córdoba . . . . .	9
1.6 Ejemplo de cubierta vegetada extensiva con <i>Sedum</i> sp. Göttingen, Alemania . . . .	10
1.7 Ejemplo de cubierta vegetada biodiversa ecomimética . . . . .	11
2.1 Zonificación ecológica de Holdridge para la República Argentina . . . . .	23
2.2 Mapa de zonas de vida para el centro de Argentina . . . . .	24
2.3 Cultivo de las especies de plantas recolectadas bajo condiciones de invernáculo . .	27
2.4 Climograma de temperaturas mensuales y precipitación total mensual . . . . .	29
2.5 Sistema modular de cubierta vegetada extensiva. Especificaciones técnicas . . . . .	30
2.6 Construcción de ensayo de CVE para la evaluación y selección en condiciones de monocultivo de especies nativas y/o naturalizadas de la provincia de Córdoba . . . . .	31
2.7 Referencia del valor asignado a cada apariencia visual (AV) en el rango 5 a 1 . . . . .	32
2.8 Sitios de recolección de especies nativas de la provincia de Córdoba en base a la hipótesis de hábitats modelos. Ejemplos de los sitios donde se recolectaron las especies en base a la hipótesis de los hábitats modelos . . . . .	35
2.9 Apariencia visual para <i>S. mexicanum</i> . . . . .	42
2.10 Apariencia visual de las herbáceas rastreras evaluadas (a) <i>A. grandiflora</i> ; (b) <i>H. curassavicum</i> ; (c) <i>N. undulatum</i> ; (d) <i>P. nodiflora</i> ; (e) <i>S. montevidensis</i> ; (f) <i>G. x hibr.</i> . .	43
2.11 Apariencia visual de las herbáceas erguidas evaluadas (a) <i>G. cabreræ</i> ; (b) <i>H. Jasionoides</i> ; (c) <i>S. vira-vira</i> ; (d) <i>J. squarrosa</i> . . . . .	44
2.12 Apariencia visual de las gramíneas y graminoides evaluadas (a) <i>Eleocharis</i> sp.; (b) <i>S. unguiculatum</i> ; (c) <i>E. retusa</i> ; (d) <i>M. macra</i> ; (e) <i>S. condensatum</i> . . . . .	45

---

2.13 Modelos de crecimiento para las especies seleccionadas por desempeño en condiciones experimentales de CVE . . . . .	49
3.1 Climogramas de temperatura máxima y mínima mensuales, y precipitación mensual. (a) Ciclo 1 (b) Ciclo 2 . . . . .	57
3.2 Esquema de nuevo sistema modular de CVE . . . . .	58
3.3 Etapas construcción del ensayo de cubiertas vegetadas extensivas para la evaluación del desempeño vegetal de microcosmos . . . . .	59
3.4 Especies seleccionadas en condiciones de monocultivo en cubierta vegetada extensiva para su evaluación en microcosmos poli-específicos . . . . .	60
3.5 Ejemplo de medición de la abundancia relativa en términos de cobertura vegetal según la escala Domin-Krajina . . . . .	65
3.6 Gráficos radial de la dinámica entre la cobertura y supervivencia por microcosmos	68
3.7 Gráficos de caja para el desempeño de la cobertura vegetal individual por especie. Final Ciclo 1 . . . . .	71
3.8 Gráfico de cajas para el desempeño de la cobertura vegetal individual por especie. Final Ciclo 2 . . . . .	72
3.9 Gráficos de cajas para el desempeño de la supervivencia individual por especie. Final Ciclo 1 . . . . .	73
3.10 Gráficos de cajas para el desempeño de la supervivencia individual por especie Final Ciclo 2 . . . . .	74
4.1 Diagrama de ruta de caracteres funcionales de plantas utilizados para la predicción de funciones ecosistémicas . . . . .	79
4.2 Construcción de CVE a escala real de techo. Facultad de Arquitectura. UCC	82
4.3 Material vegetal utilizado para su evaluación en CVE a escala real . . . . .	83
4.4 Vista general del ensayo de cubierta vegetada extensiva y diagrama de diseño de distribución de microcosmos . . . . .	86
4.5 Análisis de componentes principales de las ocho especies estudiadas . . . . .	93
4.6 Dendrograma obtenido del análisis de clúster de las especies analizadas . . . . .	94
4.7 Análisis de supervivencia Kaplan-Meier (a-d) . . . . .	96
4.8 Dinámica de cobertura vegetal de acuerdo a los porcentajes de cobertura vegetal por microcosmos . . . . .	97

---

5.1 Vista general del ensayo de cubierta vegetada en aula taller de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba en época primavera-verano . . . .	110
5.2 Vista general del ensayo de cubierta vegetada en el aula taller de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Córdoba en época otoño-invierno . . . . .	111
5.3 Diversidad de fauna asociada a las especies estudiadas durante el desarrollo de la Tesis . . . . .	112

---

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1 Caracterización del suelo de los sitios de recolección . . . . .	36
2.2 Listado total de especies nativas y/o naturalizadas recolectadas en la región NO de la provincia de Córdoba . . . . .	37
2.3 Período de floración para las especies evaluadas en condiciones de CVE . . . . .	46
2.4 Cobertura vegetal de las especies evaluadas: CVeg mín, máx . . . . .	48
3.1 Configuración de los microcosmos de acuerdo a la combinación de 2, 3 y 4 especies . . . . .	61
3.2 Cobertura vegetal individual por especie según la escala Domin- Krajina . . . . .	65
3.3 Modelo de regresión lineal beta para cobertura vegetal y supervivencia de los microcosmos . . . . .	69
4.1 Diseño experimental. Configuración de los microcosmos de monocultivos a combinaciones poli-específicas . . . . .	84
4.2 Valores de los caracteres funcionales de las especies evaluadas . . . . .	91
4.3 Supervivencia por microcosmos desde septiembre 2018 a septiembre 2019 . . . . .	94
4.4 Resumen comparativo de la cobertura vegetal final de microcosmos representativos con CVeg > 95 % y microcosmos con CVeg < 79 % . . . . .	97
4.5 Relación de atributos de diversidad. Análisis de regresión lineal múltiple . . . . .	97
4.6 Ranking de microcosmos de acuerdo al IDVCV . . . . .	99

---

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AC	Análisis de conglomerados
ACP	Análisis de componentes principales
AIC	Criterio de Akaike
AF	Área foliar
AFE	Área foliar específica
ANOVA	Análisis de la Varianza
A. térmica	Amplitud térmica
AV	Apariencia visual
BIC	Criterio Bayesiano
BT	Biotemperatura
CAF	Contenido de agua foliar
CAM	Metabolismo ácido de las crasuláceas
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
COM	Comisión Europea
CVa	Coefficiente de variación
CV	Cubierta/s vegetada/s
CVE	Cubierta/s vegetada/s extensiva/s
CVI	Cubierta/s vegetada/s intensiva/s
CVs	Coefficient of variation
CVeg	Cobertura vegetal
CVeg <sup>Final</sup>	Cobertura vegetal final
CVeg <sup>Final 1</sup>	Cobertura vegetal final ciclo 1
CVeg <sup>Final 2</sup>	Cobertura vegetal final ciclo 2
CVeg <sup>Ind.</sup>	Cobertura vegetal individual por especie
CVeg <sup>Ind.Final 1</sup>	Cobertura vegetal individual por especie. Final Ciclo 1
CVeg <sup>Ind.Final 2</sup>	Cobertura vegetal individual por especie. Final Ciclo 2

---

CVeg <sub>Mic.</sub>	Cobertura vegetal por microcosmos
CV semi intensiva	Cubierta vegetada semi intensiva
DCVeg	Dinámica de cobertura vegetal
Eus	<i>E. retusa</i> ; <i>E. distichophylla</i>
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura
FCEFYN	Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
G	Gramíneas
Gla	<i>G. x hibr.</i>
Gri	<i>G. cabreræ</i>
Ha	Herbácea alta
Hr	Herbáceas rastreras
HVeg	Altura vegetativa
IBA	Ácido indol butírico
ICr.	Incremento en el crecimiento
ICU	Isla de calor urbana
IDECOR	Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba
IDVCV	Índice de desempeño vegetal de cubiertas vegetadas
IMBIV	Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal
INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos Instituto Nacional de Propiedad Intelectual
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IPBES	Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
IRNASUS	Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales y Sustentabilidad
IV	Infraestructura verde
Ln	Logaritmo natural
LRGySB	Laboratorio de Recursos Genéticos y Sustentabilidad Bioclimática
Mic	Microcosmos
MSF	Materia seca foliar
MO	Materia orgánica

---

Nas	<i>N. tenuissima</i>
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
%P	Porcentaje de fósforo
Phy	<i>P. nodiflora</i>
Raíz_	Raíz cuadrada
Rank	Rango
S (%)	Porcentaje de supervivencia
S <sub>Final 1</sub>	Supervivencia final Ciclo 1
S <sub>Final 2</sub>	Supervivencia final Ciclo 2
S <sub>Ind.</sub>	Supervivencia individual por especie
S <sub>Mic.</sub>	Supervivencia por microcosmos
S	Suculentas
SbN	Soluciones basadas en la naturaleza
Slin	<i>S. lineare</i>
Smex	<i>S. mexicanum</i>
Sref	<i>S. reflexum</i>
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
T	Tiempo
T <sub>máx</sub>	Temperatura máxima
T <sub>media</sub>	Temperatura media
T <sub>mín</sub>	Temperatura mínima
UCC	Universidad Católica de Córdoba
UN	Naciones Unidas
UNC	Universidad Nacional de Córdoba

---

# EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE GERMOPLASMA NATIVO Y/O NATURALIZADO PARA CUBIERTAS NATURADAS DE BAJO MANTENIMIENTO. AVANCES EN LOS APORTE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PARA EL DESARROLLO DE CIUDADES RESILIENTES

## RESUMEN

Las cubiertas vegetadas, o techos verdes se emplean como herramientas de base ecológica y tecnológica para aumentar la resiliencia urbana y hacer frente al cambio climático global y ambiental. Gran parte de los servicios ecosistémicos que prestan las cubiertas vegetadas, dependen de una correcta evaluación y selección de su vegetación. No obstante, las condiciones bioambientales en la superficie de una construcción edilicia presentan importantes desafíos para las plantas, acentuándose aún más en regiones áridas y semiáridas. Por lo tanto, especies nativas y naturalizadas de la provincia de Córdoba presentan potencial de uso en cubiertas vegetadas. En este trabajo se propuso recolectar, cultivar, evaluar y seleccionar germoplasma nativo y naturalizado para cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento, teniendo en cuenta la provisión de servicios ecosistémicos. Dado el escaso conocimiento específico en la región, se inició con la recolección de material vegetal en el noroeste y centro de la provincia de Córdoba, para su posterior evaluación en condiciones de monocultivo en sistemas de bajo mantenimiento. Las especies con éxito postcolecta se evaluaron y seleccionaron en base a la valoración de la apariencia visual, la supervivencia y la cobertura vegetal. Para la recolección del material, se partió de la hipótesis que los hábitats naturales y/o seminaturales en regiones semiáridas se asemejan a los se que presentan en las cubiertas vegetadas. Se recolectó un total de 27 especies nativas, de diferentes formas de crecimiento. Dieciséis de ellas tuvieron éxito postcolecta, y fueron caracterizadas en módulos experimentales de cubiertas vegetadas extensivas en el Campus de la Universidad Católica de Córdoba. Tres especies nativas *Phyla nodiflora* (herbácea rastrera), *Grindelia cabreræ* (herbácea alta), y *Eustachys retusa* (gramínea) y una especie exótica suculenta de amplio uso a nivel mundial, *Sedum mexicanum*, fueron seleccionadas por presentar un activo crecimiento, capacidad de resiembra y rebrote, una supervivencia > 80 % y una cobertura vegetal > 60 % después de un año de evaluación. Estas especies fueron luego evaluadas en microcosmos poli-específicos por dos años consecutivos, partiendo de la hipótesis que una mayor diversidad de especies mejora el desempeño vegetal de las cubiertas vegetadas. Los microcosmos se evaluaron a partir de los indicadores de

---

desempeño vegetal tanto a nivel de comunidad como a nivel especie-específico. Al final del primer ciclo, se observaron diferencias significativas en la cobertura vegetal, en donde 9 de las 11 combinaciones lograron valores mayores al 80 % ( $p < 0,05$ ), con una supervivencia final  $> 80$  % en 6 microcosmos ( $p < 0,05$ ). Al final del segundo ciclo se registró una disminución en ambas variables en todos los microcosmos. Sin embargo, cinco de ellos lograron una cobertura y una supervivencia entre 60 y 80 % ( $p < 0,05$ ). Se encontraron diferencias significativas en el desempeño individual de las especies ( $p < 0,05$ ), en donde *E. retusa* y *S. mexicanum* tuvieron la mayor cobertura. La presencia de estas especies es importante para optimizar el rendimiento general del microcosmos y funcionar como especies nodrizas de otras que alcanzan menor desempeño. *Grindelia cabrerae* fue la especie que logró menor cobertura en combinación. Sin embargo, es importante incluirla debido a su prolongada floración y atracción de visitantes florales, entre otras características. Finalmente, se evaluaron distintos atributos en una cubierta vegetada a escala real, comparando el desempeño de 22 microcosmos, desde monocultivos a combinaciones poli-específicas, utilizando 8 especies y cuatro formas de crecimiento diferentes. Se caracterizó funcionalmente a las especies y se evaluó el desempeño por un ciclo anual. Se utilizó el Índice de Desempeño Vegetal para Cubiertas Vegetadas para seleccionar las mejores combinaciones de acuerdo con cobertura vegetal final e incremento en el crecimiento, y con el menor coeficiente de variación. Para el análisis de biodiversidad se utilizaron ocho especies de plantas (*S. mexicanum*, *S. lineare*, *S. reflexum*, *P. nodiflora*, *G. x hibr.*, *G. cabrerae*, *E. distichophylla* y *Nassella tenuissima*). Se determinaron 5 grupos funcionales (I: suculentas; II: herbáceas rastreras; III: *G. cabrerae*; IV: *E. distichophylla* y V: *N. tenuissima*). Seis microcosmos fueron seleccionados por alcanzar cobertura vegetal final  $> 93$  % y el mayor incremento en el crecimiento (81 %), con la menor variación. Tres monocultivos alcanzaron valores comparables a mezclas más complejas ( $> 2$  especies,  $> 2$  formas de crecimiento). Sin embargo, se recomienda para el diseño de cubiertas vegetadas en regiones semiáridas el uso de combinaciones mixtas, ya que presentan mayor variedad de atributos, los cuales están asociados con la provisión de servicios ecosistémicos. Los resultados de esta Tesis contribuyen a ampliar el conocimiento sobre la selección y evaluación de especies nativas con potencial de uso en cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento y su recomendación en regiones semiáridas.

**Palabras claves:** unidades eco-tecnológicas, techos verdes, desempeño vegetal, semiárido

---

**Evaluation and selection of native or naturalized germplasm for low maintenance vegetated roofs: advances in the contributions of ecosystem services for the development of resilient cities.**

**ABSTRACT**

Vegetated roofs are frequently used as an eco-technological tool to increase urban resilience in response to environmental climate change. The ecosystem services they provide depend on the plant assessment and selection process. At the top of a building, plants must deal with harsh bioclimatic conditions that are increased in arid and semiarid regions. Therefore, native plants of Córdoba province present high potential to thrive under these environments. The main purpose of this study was to collect, cultivate, evaluate and select native and naturalized germplasm under low maintenance vegetated roofs. The first step was plant collection in the northwest regions of Córdoba, followed by its evaluation under monoculture. Sixteen species were assessed according to visual appearance, survival, and coverage for 1 year. Three native species (*Phyla nodiflora*, *Grindelia cabreræ*, *Eustachys retusa*) and *Sedum mexicanum* were selected according to active growth, reseeding, survival > 80 %, and coverage > 60 %. They were then evaluated according to performance variables both at the microcosms level and at the species-specific level. After two years, there was a decreased in coverage and survival, eventough, microcosms reached between 60 and 80 % in both variables. *Eustachys retusa* and *S. mexicanum* outperformed in coverage ( $p < 0.05$ ). These species could be used as nurse species to less tolerant ones, like *G. cabreræ*. Finally, eight species with diverse attributes were also evaluated under vegetated real roof conditions on a 22 microcosms experiment. Functional traits of *S. mexicanum*, *S. lineare*, *S. reflexum*, *P. nodiflora*, *G. x hybr.*, *G. cabreræ*, *E. distichophylla*, *Nassella tenuissima* and four life-forms were evaluated through a trial using 22 microcosms for 1 year. A vegetation performance index was used to rank and select the best microcosms' according to coverage, growth increment and the less coefficient of variation. Five functional groups were determined: succulents; creeping herbs; *N. tenuissima*; *E. distichophylla*, and *G. cabreræ*. Six treatments were characterized as the best ones: with the highest coverage (> 93 %) and growth increment (81 %), and with low CVs. However, some monoculture (*Sedum* spp., *P. nodiflora* and *E. distichophylla*) reached comparable values with

---

respect to mixed microcosms. In conclusion, for semiarid regions we recommend the design of vegetated roofs with diverse plant assemblages, which are associated with ecosystem services.

**Key words:** eco-technological units, green roofs, plant performance, semiarid

---

# CAPÍTULO 1

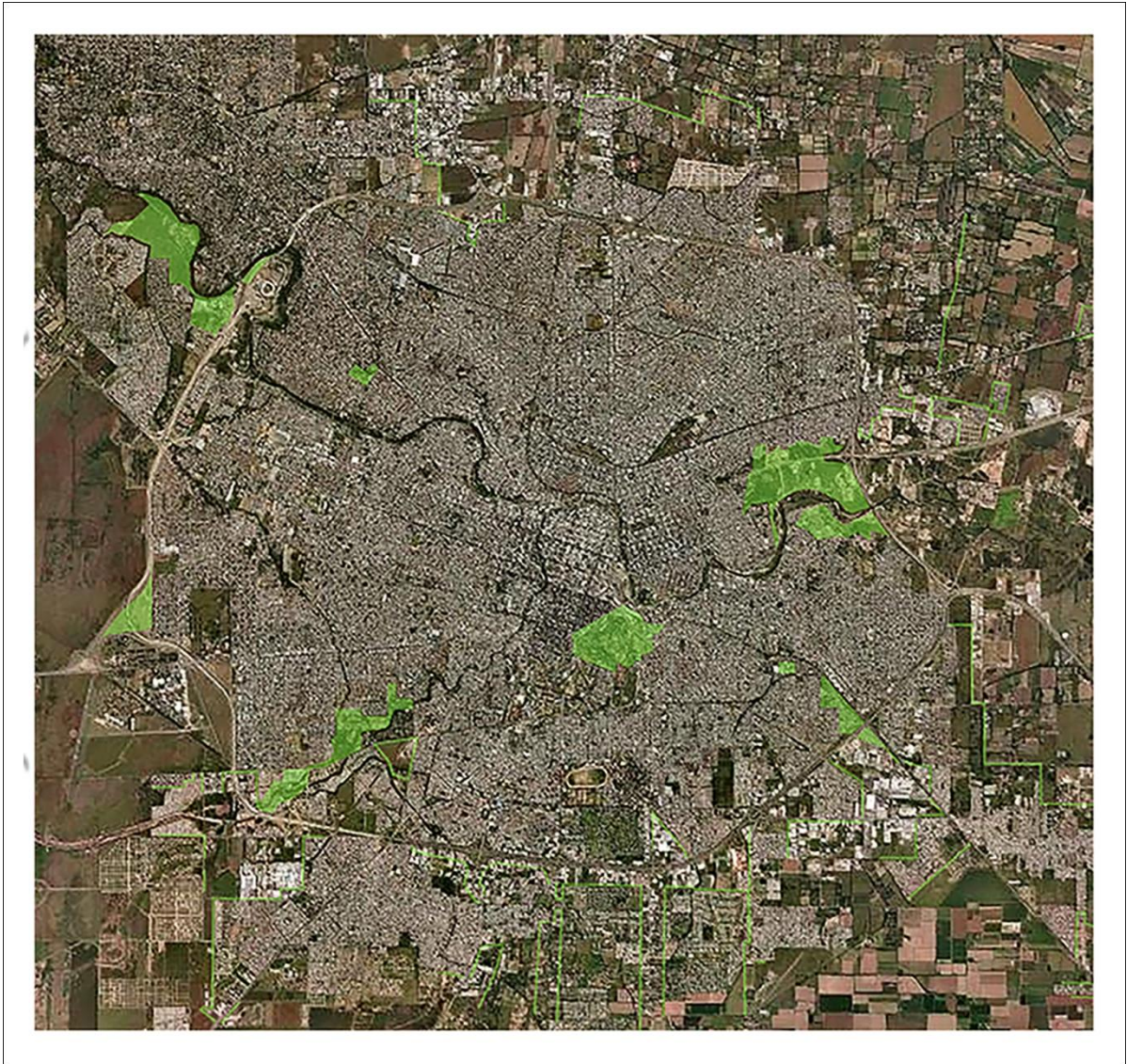
## INTRODUCCIÓN GENERAL

La rápida expansión urbana y el crecimiento no planificado de las ciudades impactan negativamente en los ecosistemas naturales y seminaturales afectando gran parte de los procesos que determinan su funcionamiento y los beneficios que obtenemos de ellos (Grimm et al., 2008; Seto et al., 2012; Guarino et al., 2021). Actualmente, las ciudades ocupan entre el 2 y 5 % de la superficie terrestre, alojan más del 54 % de la población mundial y producen aproximadamente el 80 % del producto bruto interno global (UN 2015; ONU HABITAT, 2020). Las proyecciones futuras estiman que para mitad del siglo XXI la tasa demográfica urbana supere el 66 %, lo cual se verá reflejado en una suma adicional a 1,5 millones de km<sup>2</sup> de superficies selladas (Seto et al., 2012; Alberti, 2017; UN DESA, 2019; Khatri, 2022). Es decir, aquellas áreas de suelo que son cubiertas irreversiblemente con materiales artificiales e impermeables como el asfalto, el hormigón, el metal, etc., propias de la infraestructura gris de una ciudad (Prokop et al., 2011). Este sellamiento altera las múltiples funciones que el suelo no impermeabilizado brinda, como por ejemplo el intercambio de energía, el movimiento del agua, la difusión de gases y la biota (Scalenghe y Marsan, 2009).

Kennedy et al. (2007) definieron a las ciudades como sistemas complejos, en continuo estado de cambio que evolucionan de acuerdo al tamaño, a la estructura socio-económica, la configuración geopolítica y el avance tecnológico. A pesar de ocupar una pequeña fracción de la superficie terrestre, las áreas urbanas se caracterizan particularmente por presentar una densidad poblacional alta, abundantes construcciones edilicias, extensas superficies oscuras (i.e., superficies de color oscuros, con menor albedo y mayor absorbanza de calor) (Lu y Weng, 2009) e impermeabilizadas (Grimm et al., 2008; Wu et al., 2014). La urbanización y densificación cada vez más intensa han reducido la cantidad de superficie para espacios verdes

en numerosas ciudades (Suárez, 2020). Así, el proceso de reemplazo de la vegetación existente por estas superficies selladas modifica la composición y la configuración espacio-temporal de los elementos del paisaje, altera los flujos de energía y los ciclos geoquímicos, conlleva a una mayor fragmentación y degradación de hábitats naturales afectando la diversidad biológica (McKinney, 2006; Grimm et al., 2008; Hobbie y Grimm, 2020). Como consecuencia, la densificación urbana se identifica como uno de los factores más importantes que contribuye al cambio climático y ambiental a nivel global (Ismail et al., 2018). Estos cambios se ven reflejados en la formación de islas de calor (ICU), es decir zonas de concentración de altas temperaturas con respecto al entorno suburbano o rural (Oke, 1973; Arnfield, 2003; Sailor, 2014), lo cual aumenta el consumo de dos terceras partes de la energía global y la liberación a la atmósfera de alrededor de 75 % de gases de efecto invernadero (Nueva Agenda Urbana, 2021). Más aún, la ausencia de una capa permeable produce cambios en el balance hídrico incrementando el riesgo de inundaciones (Berndtsson, 2010), así como también conlleva a la homogenización biótica (McKinney, 2006).

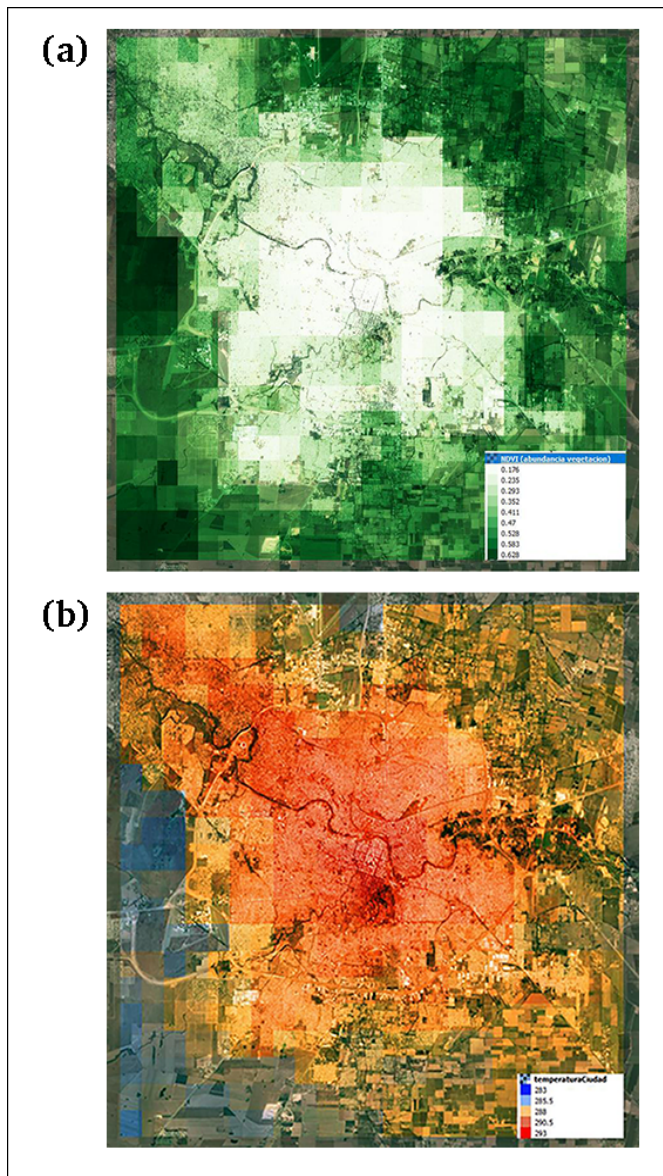
En Argentina la población urbana actual supera el 90 % (Goites et al., 2020). Según datos brindados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina, la ciudad de Córdoba es la segunda más poblada del país con un total de 1.330.023 habitantes y presenta una superficie urbanizada de 263,91 km<sup>2</sup> (INDEC, 2010). Este crecimiento ha tenido una expansión vertical (i.e., aumento de edificios), en barrios peri centrales, y horizontal, hacia zonas periféricas (Marengo y Buffalo, 2018). La Carta de Mapas de Suelo de la Provincia, estima que el ejido municipal de Córdoba cuenta con 2337,84 hectáreas de áreas verdes recreativas (Figura 1.1). Se entiende por este tipo de espacio a “*aquellas superficies previstas para el desarrollo de actividades recreativas con predominancia de verdes en diferentes escalas y tipologías como parques, praderas, masas forestales o plazas*” (IDECOR) (<https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/43>). En el año 2012, si bien se reportó un valor de 16,8 m<sup>2</sup> por habitante de Índice de Área Verdes, éstas no están distribuidas proporcionalmente respecto a la densidad poblacional (Nuestra Córdoba, 2012). A su vez si se comparan estos valores con otras ciudades de Latinoamérica, como por ejemplo Curitiba (52 m<sup>2</sup> de espacios verdes por habitante) (Economist Intelligence Unit, 2012 cita en Suárez, 2020), se puede observar que Córdoba se encuentra muy por debajo.



**Figura 1.1** Imagen aérea del ejido municipal de la ciudad de Córdoba. Los tonos verdes indican las áreas verdes recreativas. Fuente: Mapas de Córdoba. Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR; <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/43>).

La alta densificación urbana, la distribución desproporcionada de los espacios verdes y la baja calidad ambiental de los mismos conducen al fenómeno de ICU (Nuestra Córdoba, 2012). En la ciudad de Córdoba, el informe preliminar reportado por Del Gesso y Romero (2018) determinó diferencias en la temperatura superficial de hasta 5,8 °C en época estival, coincidiendo las temperaturas más elevadas con las zonas más densas en edificios y con menor vegetación. En este informe preliminar se presentan dos imágenes satelitales del ejido municipal de Córdoba. En la primera de ella, se muestra el índice de vegetación diferencial normalizada, donde se observa la disminución en la cobertura vegetal a medida que se aproxima

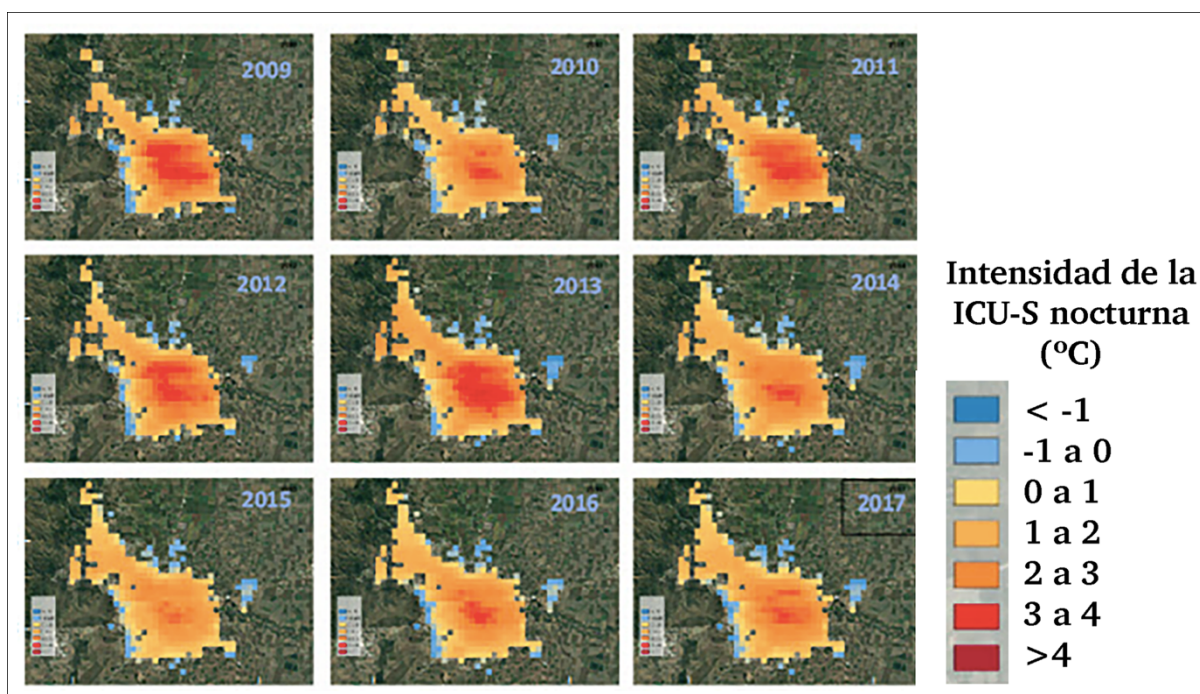
a áreas densamente urbanizadas (centro de la imagen) (Figura 1.2 a). En la Figura 1.2 b, se muestra una imagen termográfica de la temperatura superficial, la cual es mayor en áreas más densas y con menor vegetación (Figura 1.2 b).



**Figura 1.2 (a)** Imagen satelital de las variaciones espaciales de la abundancia de vegetación dentro de la ciudad de Córdoba. Tonos de verde más oscuros evidencian mayor concentración de vegetación, correspondiendo a un índice de vegetación normalizado mayor **(b)** Imagen termográfica de la distribución de la temperatura superficial de la ciudad de Córdoba. Tonos de rojo más intensos en el núcleo central corresponden a una mayor densidad edilicia. *Nota.* Adaptado de Del Gesso y Romero, 2018.

De la Casa y Nasello (2014) estudiaron la variación en la temperatura del aire a partir de datos de estaciones meteorológicas localizadas en la zona céntrica de la ciudad y en las zonas rurales y peri urbanas, percibiendo diferencias de entre +1 y +2 °C de las primeras respecto a las segundas. El estudio indicó que el aumento de la temperatura del aire está relacionado con un incremento en la demanda energética para refrigeración en los meses de verano, así como una disminución en la misma para calefacción en los meses de invierno. Esta diferencia de

temperatura del área urbana respecto a la rural, explicando el fenómeno de ICU, se puede observar en Lozada Montanari y Camilloni (2022). En la Figura 1.3 se observan imágenes satelitales de la evolución de la intensidad de temperatura superficial nocturna desde el año 2009 hasta el año 2017. Estos autores reportan que el 86 % del área urbana de la ciudad de Córdoba presenta el fenómeno de la ICU, con valores de +1 y +2 °C de incremento de la temperatura urbana respecto a la rural. Este incremento se manifestó en el año 2013 de manera más marcada.



**Figura 1.3** Evolución de la intensidad de la isla de calor urbana superficial nocturna (°C) del ejido municipal de Córdoba.

*Nota.* Adaptado de “Variabilidad espacio-temporal de la isla de calor superficial en tres ciudades argentinas”, p. 13, por: Montanari y Camilloni, 2022. *Metorológica*.

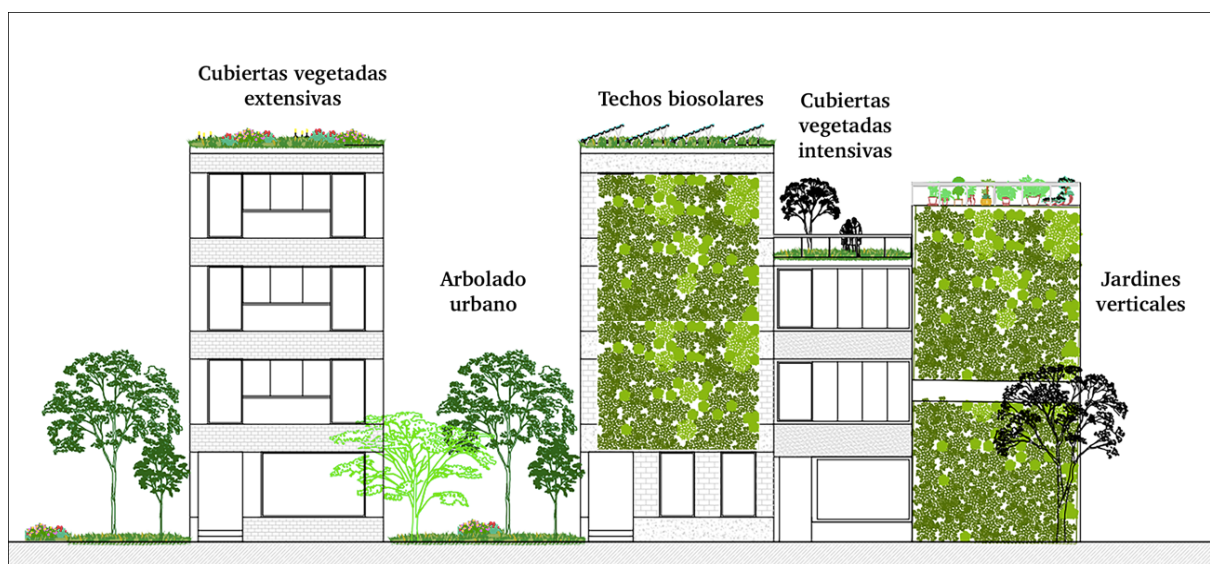
### 1.1 Soluciones basadas en la naturaleza como aporte a la sustentabilidad y resiliencia urbana

En este contexto, la planificación de las ciudades, presentes y futuras, debe estar enfocada en base a principios de sustentabilidad como un primer paso para entender su dinámica y alcanzar la resiliencia (Collier et al., 2013; Ahern, 2014; Kabisch y Hasse, 2014). En términos generales, se entiende por resiliencia a la capacidad de un sistema de responder, adaptarse y evolucionar a diferentes formas de presiones y riesgos (Hassler y Köhler, 2014). Alberti et al. (2003) adaptaron este concepto al entorno construido para hacer referencia al grado en el que una

ciudad es capaz de tolerar, anticiparse, absorber y recuperarse frente a diferentes eventos climáticos. La resiliencia urbana (RU) ha ganado lugar a través de iniciativas como la Nueva Agenda Urbana y los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) al 2030 determinados por Naciones Unidas (ONU HABITAT, 2020). El ODS #11 promueve el desarrollo de ciudades y comunidades en base a valores de inclusión, de seguridad, de resiliencia, de sostenibilidad y de eficiencia. Recientemente, algunas organizaciones como el Foro Económico Mundial y el Instituto de Investigaciones en Recursos Biológicos de la Asociación Alexander von Humboldt ([www.weforum.org](http://www.weforum.org)) han propuesto transformar el modo en que vivimos y nos relacionamos con la naturaleza a través proyectos como BiodiverCiudades al 2030 (del inglés “BiodiverCities by 2030”). En este proceso de re-naturalización de las ciudades, la infraestructura verde urbana (IV) juega un rol fundamental brindando numerosos servicios ecosistémicos (Gill et al., 2007; Ahern et al., 2014; Catalano et al., 2018; Li y Nassauer, 2020). En el 2013, la Comisión Europea (COM, 2013, p. 7) definió a la IV como *“una red estratégicamente planificada de áreas naturales y seminaturales con otras características ambientales, diseñadas y gestionadas para brindar una amplia gama de servicios ecosistémicos, mejorar el bienestar humano y proteger la biodiversidad”*. La FAO reconoce al bosque urbano como *“la espina dorsal de la infraestructura verde que conecta las áreas urbanas a las rurales y mejora la huella ambiental de las ciudades”* (FAO, 2017, p. 2). Además del gran valor socio ambiental que aportan estos ecosistemas urbanos como arbolado público (en grupo o individuales), las plazas, los parques y jardines domésticos, otras formas innovadoras de reverdecer a las ciudades puede lograrse alterando las propiedades de las superficies de los edificios (Oberndorfer et al., 2007; Contesse et al., 2018).

En el año 2015, surge el término “Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)” como una forma gradual de reintegrar la naturaleza a las áreas urbanas (Lafortezza et al., 2018). Las SbN son aquellas que están inspiradas y basadas en procesos naturales, y se espera que sean sostenibles, que brinden beneficios ambientales, sociales, económicos; así como que ayuden a desarrollar la resiliencia de los espacios urbanos (Castellar et al., 2021). Se busca que tales soluciones incorporen más diversidad, espacios y procesos naturales a las ciudades (Sowińska-Świerkosz y García, 2022). Dentro de las SbN se encuentran aquellas clasificadas como Unidades Tecnológicas, las cuales pueden definirse como sistemas diseñados para la interacción de componentes vivos con aquellos no vivos, en donde hay un intercambio de flujo de energía hacia el interior y exterior del sistema y que funcionan para proveer servicios ecosistémicos

(i.e., aislamiento térmico) (Ranalli y Lundholm, 2008; Castellar et al., 2021). Este tipo de construcción representa una oportunidad para la reconciliación ecológica promoviendo la coexistencia de la especie humana con otras formas de vida al mismo tiempo que pueden funcionar como sitios de conservación y mejorar la calidad del ambiente circundante (Guarino et al., 2021). Dentro de estas unidades tecnológicas se encuentran los sistemas de jardines verticales como fachadas verdes y paredes vivas (unidades tecnológicas verticales de SbN), los sistemas de biorretención o humedales artificiales y los sistemas de cubiertas vegetadas (CV) o naturadas, comúnmente conocidos como techos verdes y/o techos vivos (Calheiros y Stefanakis, 2021). Los techos verdes son mencionados como soluciones innovadoras basadas e inspiradas en la naturaleza (unidades tecnológicas horizontales de SbN) (Castellar et al., 2021). Las CV pueden complejizarse formando sistemas híbridos de techos biosolares (i.e., CV ensambladas a paneles fotovoltaicos) (Gill et al., 2007; Hobbie y Grimm, 2020) (Figura 1.4). La contribución de las CV en el desarrollo de ciudades resilientes frente al cambio climático y ambiental puede ser particularmente alta, ya que los techos de las construcciones edilicias ocupan alrededor de un 32 % del total de las superficies impermeabilizadas de una ciudad (Carter y Jackson, 2007).



**Figura 1.4** Tipos de SbN: cubiertas vegetadas intensivas y extensivas, sistemas híbridos de cubierta vegetada y paneles fotovoltaicos (i.e., techos biosolares) y sistemas de paredes verdes; arbolado urbano Adaptado de “Green roofs towards circular and resilient cities” (p. 399) por C. Calheiros y A. Stefanakis, 2021. Cortesía de Arq. Gonzalo Cáceres. MP. 12405.

## **1.2 Cubiertas vegetadas: definición, tipos y beneficios**

Sutton (2015) caracteriza a las CV, como “aquellos sistemas de parches antropogénicos noveles, que consisten en una serie de membranas o capas donde se coloca un sustrato específico para el crecimiento y desarrollo de una comunidad vegetal sobre la superficie de una construcción edilicia”. Desde la superficie del techo hacia la capa vegetal la disposición de las capas es la siguiente: membrana protectora impermeabilizante, barrera anti raíz, capa drenante, capa filtrante, capa de sustrato y capa vegetal.

En el presente documento referiré al término CV discutido por Francis y Lorimer (2011) y Rosenzweig (2016) quienes consideran que el término “techo verde” puede ser confuso ya que no siempre están 100 % cubiertos y verdes. Lograr estas características dependen de factores como el lugar donde se emplace el sistema CV, del establecimiento exitoso de la vegetación implantada y sus relaciones inter e intraespecíficas, la estación del año y del tipo de sustrato empleado, entre otras (Oberndorfer et al., 2007). Kotze et al. (2020) suman al concepto de CV un nuevo enfoque basado en la intención funcional del diseño de la CV según el tipo de vegetación empleada como por ejemplo “techo de pradera biodiversa”, “techos multifuncionales”, “techo para buenas prácticas de colecta del agua de lluvia”, entre otras.

### **1.2.1 Tipos de cubiertas vegetadas**

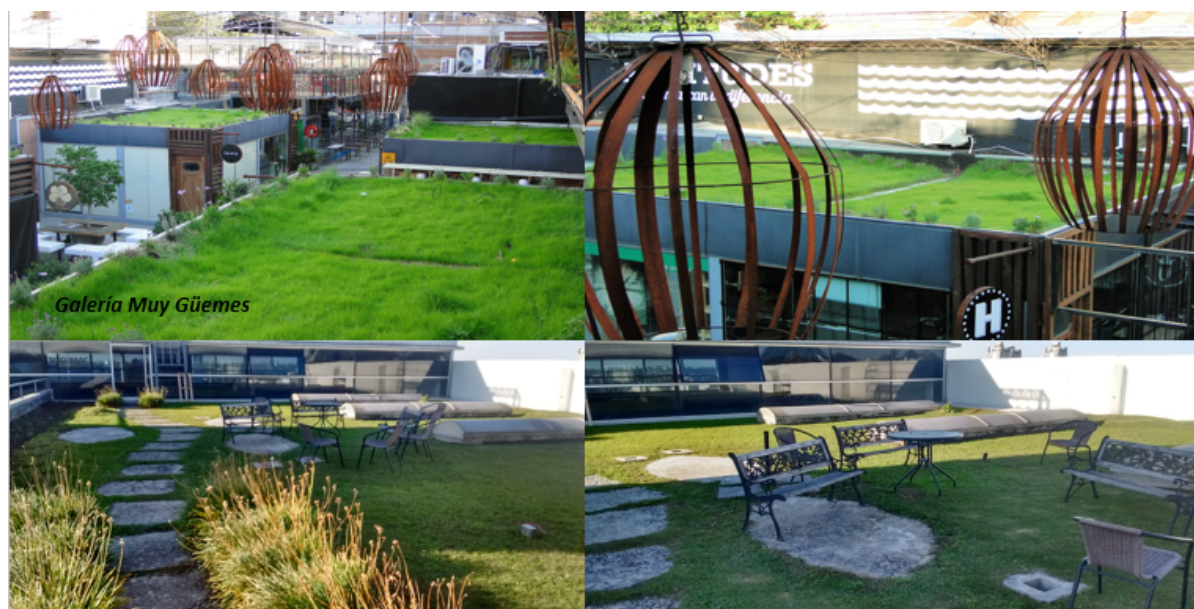
De acuerdo a la profundidad del sustrato agregado, nivel de mantenimiento y tipo de vegetación empleada, se distinguen tres tipos de CV: CV intensivas (CVI), CV semi intensivas y CV extensivas (CVE) (Oberdonfer et al., 2007; Sutton, 2015; Vijayaraghavan, 2016).

#### **1.2.1.1 Cubiertas vegetadas intensivas**

Las CVI se caracterizan por presentar profundidad de sustrato mayor a 0,20 m, y tienen un peso de carga estructural de 290 a 900 kg.m<sup>-2</sup>. Su sustrato puede ser liviano o más pesado, altamente poroso, con baja materia orgánica (< 20 %). El uso de este tipo de cubierta es puramente estético y recreativo. Una mayor profundidad de sustrato permite una amplia diversidad de especies vegetales desde árboles, arbustos, hierbas perennes hasta carpetas cespitosas. Esta diversidad le confiere a este sistema la propiedad de espacios de recreación como los parques o jardines a nivel de suelo.

La carga estructural, el costo de instalación y su mantenimiento son las principales desventajas de las CVI para su diseño y construcción (Vijayaraghavan, 2016) (Figura 1.5). Es decir, las

CVI requieren de un esquema de mantenimiento y cuidado vegetal extremadamente fuerte con riegos intensivos, desmalezado frecuentes, la aplicación de pesticidas y fertilizantes, en el caso de utilizarse como cubresuelo césped y otras especies de mayor requerimiento (Nektarios et al., 2012). Sin embargo, el uso de productos fitosanitarios deben ser empleados con precaución ya que pueden lixiviarse como residuos en el agua drenante (Getter y Rowe, 2006; FLL, 2008).



**Figura 1.5** Ejemplos de cubiertas vegetadas intensivas de la ciudad de Córdoba.

*Nota*, Adaptado de *Relevamiento de techos verdes de la ciudad de Córdoba. Primer diagnóstico* (p. 21), por Suárez et al., 2016. EDUCC.

### 1.2.1.2 Cubiertas vegetadas semi intensivas

Las CV semi intensivas son cubiertas intermedias entre las intensivas y aquellas de tipo extensivo. La profundidad de sustrato varía entre 0,10 y 0,20 m con una carga estructural entre 120 y 250 kg.m<sup>-2</sup>. El diseño y las especies que se emplean en estos sistemas son comparables a uno de tipo intensivo, por lo que su mantenimiento es de medio a alto. En cuanto a la capa vegetal pueden emplearse arbustos, herbáceas perennes y césped. (Vijayaraghavan, 2016; Kotze et al., 2020).

### 1.2.1.3 Cubiertas vegetadas extensivas

La CV extensivas (CVE) son las más preferida a nivel mundial, ya que no presentan restricciones edilicias de carga estructural, costo y/o mantenimiento (Vijayaraghavan, 2016). Se caracterizan por ser lo más cercano a ecosistemas naturales (Rosenzweig, 2016). Es por ello que su propósito principal es funcional sobre lo estético o recreativo (Oberndorfer et al., 2007). Presentan profundidad de sustrato entre 0,5 y 0,15 m, con una carga estructural de 70 a 170 kg.m<sup>-2</sup>, lo cual permite que se instalen sobre edificios ya construidos y suelen no ser transitables. El sustrato que se emplea es liviano, es decir, altamente poroso y con bajo porcentaje de materia orgánica < 20 % (Sutton, 2015). El agregado de fertilizados es nulo o se reduce al mínimo, al igual que el riego, que es sumamente bajo con respecto a un sistema de CVI (Blaustein et al., 2016). Debido a la baja profundidad de sustrato, la vegetación utilizada en sistemas extensivos se limita a especies de porte bajo (i.e., suculentas, herbáceas, gramíneas) (Caneva et al., 2015). Así mismo, las condiciones estructurales y micro ambientales desafiantes que caracterizan a las CVE, han llevado a que predominen en sus diseños especies de plantas con estrategia de vida estrés tolerantes (Butler y Orians, 2011) (Figura 1.6).



**Figura 1.6** Ejemplo de cubierta vegetada extensiva con *Sedum* sp. Göttingen, Alemania (Fuente: Cáceres, N. Año: 2014).

El Código Británico de Mejores Prácticas menciona un cuarto tipo de CV, las CV biodiversas, conocidas en inglés como “brown roofs” (Dunnett, 2015) (Figura 1.7). Estas presentan un enfoque eco mimético ya que buscan recrear hábitats similares a aquellos perdidos por el avance de la urbanización. Su principal función es de restauración y soporte para refugio de la fauna

local y/o especies raras (i.e., especies de abundancia baja) (Blaustein et al., 2016). Para aumentar la diversidad de nichos ecológicos, se construyen con distintas profundidades de sustrato, creando diseños heterogéneos, donde se pueden agregar elementos naturales como piedras o troncos (Nash et al., 2019). Este enfoque apunta al crecimiento de vegetación espontánea, la reducción del mantenimiento al mínimo esfuerzo posible y a crear áreas de sustrato desnudo donde no se desarrolla vegetación para imitar terrenos baldíos o descampados (Kadas, 2006; Blaustein et al., 2016; Nash et al., 2019).



**Figura 1.7** Ejemplo de cubierta vegetada biodiversa ecomimética (Fuente: Academia Nacional de Ciencias de California, <https://www.calacademy.org/>).

### **1.2.2 Servicios ecosistémicos asociados a las cubiertas vegetadas e incentivos para su aplicación en nuestra región**

El creciente interés de incorporar CV a la matriz urbana está relacionado a los múltiples beneficios ambientales de regulación, de provisión, de soporte y culturales que aportan simultáneamente (Oberndorfer et al., 2007; Cook-Patton y Bauerle, 2012; Li y Yeung, 2014). Estos derivan de su capacidad de funcionar como sistemas ecológicos y dependen en gran parte de la vegetación y del tipo de sustrato empleados (Oberndorfer et al., 2007; Lundholm, 2015b). Las CV mitigan el efecto de la ICU reduciendo la temperatura exterior entre 0,5 y 2 °C a través del aumento de la evapotranspiración entre el sustrato y la capa vegetal (Susca et al., 2011; Cascone, 2019). Al mismo tiempo, las CV son una de las soluciones más ampliamente empleadas en el campo de la arquitectura bioclimática (Cascone et al., 2019), ya que reducen el consumo energético, para calefacción y/o refrigeración, mejorando la eficiencia energética hacia el interior del edificio hasta un 36 % (Sailor, 2008; La Roche y Berardi, 2014; Silva et al., 2016). Las CV contribuyen a la mitigación del cambio climático, a través del secuestro de dióxido de carbono atmosférico fijando carbono directamente a través del proceso de

fotosíntesis de las plantas (Getter y Rowe, 2006; Robbiati et al., 2023). A su vez tienen la capacidad de mejorar la calidad del aire filtrando contaminantes nocivos como material particulado (Simmons et al., 2008; Yang et al., 2008; Azeñas et al., 2018), y amortiguar el ruido urbano disminuyendo la contaminación acústica entre 10 a 20 decibeles (Van Renterghem 2018). Otra de las aplicaciones elementales de las CV es su empleo como buenas prácticas para el control de escorrentía superficial. Las CV tienen la capacidad de retener agua de lluvia, (e.i., agua que queda en el sistema) y detenerla, es decir retrasar su escorrentía a través del sustrato y la vegetación, reduciendo entre 54 y 64 % el riesgo de inundación (Mentens et al., 2006; Nawaz et al., 2015; Stovin et al., 2015). En cuanto a la calidad del agua de escorrentía, estudios recientes también han demostrado que CV de 1 o 2 años desde su instalación corren riesgo de lixiviación de nitrógeno y fósforo (Akther et al., 2021). Sin embargo, Johnson et al. (2016) han observado una relación positiva entre la retención de nitrógeno y el aumento de la riqueza de especies en CV, relacionado a un incremento en la biomasa de la comunidad de plantas.

Las CV diseñadas con un ensamble vegetal heterogéneo aportan beneficios a la biodiversidad, funcionando como refugio para un gran espectro de organismos como arácnidos, artrópodos, aves, etc. (Kadas, 2006; Fabián et al., 2021). Además, también se han encontrado especies raras de plantas y líquenes, favoreciendo la conservación de las mismas creando hábitats para su desarrollo (Köhler, 2006). En paralelo, un aumento en la cantidad y distribución de las CV en una ciudad genera conectividad entre las mismas contribuyendo a la formación de corredores biológicos (Mayrand y Clergeau, 2018). Los beneficios socio-culturales de las CV se atribuyen a que su integración al entorno revaloriza el paisaje local, brindando una mejora en la calidad de vida de las personas (Lee et al., 2014). Otro aspecto importante es que las CV pueden crear nuevas oportunidades de desarrollo tecnológico, económico y laboral, a la vez que incrementan el valor de las propiedades (Ichihara y Cohen, 2011). Los sistemas de CV protegen a las superficies de estos efectos nocivos y aumentan la vida útil (40-55 años) de las membranas reduciendo costos de mantenimiento (Bianchini y Hewage, 2012). La mayoría de las membranas utilizadas para techos convencionales tienen una vida útil de unos 20 años que se degradan por el impacto directo de la luz ultravioleta, generando micro desgarros producidos por los ciclos calentamiento y enfriamiento (Oberndorfer et al., 2007). Por todas estas razones su implementación crece día a día en numerosos países de todo el mundo. Las primeras intervenciones en la superficie de los techos datan a los famosos Jardines Colgantes de Babilonia y al Imperio Romano donde se utilizaban árboles como cobertura (Oberndorfer et al.,

2007; Jim, 2017). Las CV modernas tuvieron su origen en Alemania alrededor de 1960-1980, donde su principal uso era funcional más que estético, con el objetivo principal de evitar el daño de las membranas por las exposiciones solar y riesgo de incendios (Köhler, 2003). En 1970, frente a la crisis ambiental, este país incrementó el uso de CV como una alternativa frente a los impactos ambientales en las ciudades, siendo actualmente el país modelo en términos de guías para su diseño, implementación y legislación (Köhler y Keeley, 2005). Durante las últimas dos décadas esta unidad tecnológica se ha expandido a gran escala por otros países de Europa y América del Norte, así como en numerosas regiones a escala global (Monterusso et al., 2005; Catalano et al., 2016; Walker y Lundholm, 2018). En muchos de estos lugares los gobiernos promueven su adopción principalmente a través de políticas de incentivos que se dividen principalmente en la reducción de impuestos, el financiamiento, la certificación de sostenibilidad, la obligatoriedad por leyes y los procesos administrativos ágiles (Liberalesso et al., 2020). Por ejemplo, el Gobierno Alemán brinda un estímulo económico a través de la subvención de hasta un 60 % de los costos de instalación a los propietarios de los edificios (Currie y Bass, 2008; Santos et al., 2016). En la ciudad de Basilea (Suiza) desde el año 2002, de acuerdo a la ley promulgada todo edificio nuevo debía adoptar como parte de la construcción una CV, y si la superficie era mayor a 500 m<sup>2</sup> esto debía ser diseñado utilizando diferentes materiales de sustratos y profundidades, con el objetivo de promover la diversidad de plantas y fauna local (Catalano et al., 2016). En América del Norte, los incentivos de mayor alcance son por subsidios, obligatoriedad de leyes, control y manejo de agua pluvial y certificaciones ambientales (i.e., normas LEED). La ciudad de Toronto en Canadá, en el año 2009, fue la primera en crear un estatuto para regular y exigir la incorporación de las CV en nuevas construcciones edilicias que superen los 2000 m<sup>2</sup>, donde el área ocupada de CV debe ser de entre un 20 y 60 % de la superficie total. Por otro lado, dos grandes ciudades, Beijing y Hong Kong, han incorporado la participación ciudadana en sus políticas públicas para la adopción y promoción de SbN, con una percepción muy positiva (Hui et al., 2022).

En Latinoamérica, los incentivos que prevalecen son por reducción de impuestos y por leyes de cumplimiento obligatorio (Liberalesso et al., 2020). En el año 2016 el Concejo Deliberante de la ciudad de Córdoba incorpora a su Código de Edificación la Ordenanza N° 12.548 (Resolución N° 9387/95) para la adopción de cubiertas naturadas, es decir, muros verdes y CV (Suárez et al., 2016). Este marco regulatorio parte de un Programa Integral de Desarrollo Sostenible para la ciudad, que incorpora el concepto de construcción sostenible, para lograr (i)

mejorar la calidad ambiental de la ciudad de Córdoba (ii) reducir el impacto ambiental producido por las superficies edificadas, incorporando los conceptos de eficiencia energética y construcción sustentable, como requisitos indispensables en la agenda mundial actual y (iii) incluir gradualmente tecnologías y sistemas de construcción sostenibles que garanticen el mínimo impacto ambiental de los edificios. La Ordenanza 12.548 establece también que los proyectos nuevos de edificación que superen los 400 y 600 m<sup>2</sup> de superficie deberán implementar CV por obligatoriedad en las zonas de mayor densidad poblacional, con potencial efecto de ICU y contaminación, y en aquellos espacios propensos a densificarse en el corto y mediano plazo (Giobellina et al., 2020). Ese mismo año, se realizó un primer diagnóstico a través de un relevamiento para conocer el estado de avance de las CV en la ciudad de Córdoba. Los resultados registraron un total de 24 CV que correspondían a una superficie total de sólo 6504 m<sup>2</sup> dentro del ejido municipal y el 86 % se concentraba en el casco céntrico, considerado la zona más influyente en términos de ICU (Suárez et al., 2016; 2020). Los tipos de CV adoptados variaron entre intensivos y extensivos. En cuanto a la capa vegetal, la Ordenanza 12.548 establece una reducción de metros cuadrados obligatorios a construir cuando se emplean especies vegetales nativas. Sin embargo, la mayoría de las CV relevadas fueron a base de césped y en aquellos sistemas más complejos predominaron plantas exóticas y un pequeño porcentaje correspondió a plantas nativas (Suárez et al., 2016; 2020). Este requerimiento representa una serie de obstáculos. Por un lado, es muy incipiente el desarrollo de conocimientos sobre qué especies vegetales nativas toleran las condiciones de una CV en regiones áridas y semiáridas, como es el caso de la provincia de Córdoba. Se suma la limitación en la disponibilidad de vegetación autóctona en el mercado local, y más aún con un uso específico. Estas restricciones están asociadas a la escasa experiencia e investigaciones en el tema (Chiarella y Ilari, 2014). En general, la mayoría de los proyectos de leyes y ordenanzas se basan en imitaciones o modelos realizados en otros contextos, tanto desde el punto de vista técnico como en lo referido a aspectos climáticos, sin tener en cuenta los perjuicios de la implementación de sistemas no estudiados y la incorrecta selección de especies vegetales, paso fundamental para un eficiente funcionamiento del ecosistema construido. Es por ello que se considera de vital importancia profundizar en la obtención de datos y conocimientos correspondientes a la zona centro del país, y que se ajusten a normativas que sustenten su desarrollo con estudios locales que indiquen la magnitud de los impactos esperados (Chiarella y Ilari, 2014). Un primer paso para avanzar en la temática en la región semiárida del centro de Argentina, es evaluar especies vegetales

nativas y/o naturalizadas con potencial de uso en sistemas de CV de bajo mantenimiento. El conocimiento obtenido luego de recolectar, cultivar, caracterizar y seleccionar especies nativas con potencial de uso para CVE permitirá no sólo ampliar el conjunto de especies vegetales para el uso en ecosistemas construidos para nuestra región, sino también conocer cuáles son las más adecuadas, analizar su dinámica temporal, incrementar la diversidad funcional y con ello todos los beneficios ecosistémicos que las mismas ofrecen.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

El objetivo general de esta tesis fue evaluar y seleccionar por desempeño especies nativas y/o naturalizadas para CV de bajo mantenimiento (i.e., CVE) teniendo en cuenta el aporte en la provisión de servicios ecosistémicos para la región semiárida del centro de Argentina.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1.a Recolectar y cultivar individuos de especies nativas y/o naturalizadas de la provincia de Córdoba plausibles de ser utilizadas en CVE.

1.b Evaluar y seleccionar por desempeño vegetal especies nativas y/o naturalizadas en condiciones de monocultivo en CVE.

2. Cultivar, evaluar y seleccionar en CVE el desempeño de las especies seleccionadas en el objetivo específico 1, en ensayos de microcosmos con distintas combinaciones de especies de plantas.

3. Evaluar en CVE, y seleccionar el desempeño de las especies seleccionadas de los microcosmos para incrementar atributos de biodiversidad, y cuantificar y predecir servicios ecosistémicos

### **1.4 Estructura del trabajo de Tesis**

Los próximos capítulos de la Tesis se estructuran en tres secciones principales en relación a los resultados que se presentan: **(1)** recolección, cultivo, evaluación y selección de las especies con mejor desempeño vegetal (apariencia visual, supervivencia y cobertura vegetal) en condiciones de monocultivo en CVE **(2)** evaluación de las especies seleccionadas (i) en microcosmos de combinaciones poli-específicas durante dos ciclos anuales y **(3)** análisis de atributos de

diversidad incrementando el número de especies y formas de crecimiento para ser evaluadas en condiciones reales de CVE. Los siguientes tres capítulos refieren a los resultados obtenidos de los objetivos específicos planteados, y un último capítulo de cierre con consideraciones finales y aplicaciones prácticas de los hallazgos y disparadores de investigaciones futuras vinculadas a la temática. En el Capítulo 2 se describen los tipos de plantas frecuentemente usadas en CVE, las principales ventajas del uso de germoplasma nativo, así como los enfoques de selección más comúnmente empleados. Se continúa con la exploración y recolección de especies, descripción de los sitios de colecta, para luego caracterizar y evaluar las especies en condiciones de monocultivo. En este capítulo, se seleccionaron los mejores materiales de acuerdo a variables de desempeño vegetal. En el Capítulo 3, se evalúan los mejores monocultivos (seleccionados en el Capítulo 2), en combinaciones poli-específicas de a dos, tres y cuatro especies por dos ciclos anuales en CVE, tanto a nivel microcosmos como a nivel especie-específico; y en el Capítulo 4 se analizan atributos de diversidad teniendo en cuenta la composición, estructura y diversidad funcional, (incorporando nuevas especies) para evaluar el desempeño tanto en monocultivo como en mezclas de especies a escala real de edificio. Se introduce el Índice de desempeño vegetal para CV como herramienta de ordenamiento y de selección de especies y/o microcosmos. En el Capítulo 5, se expone una discusión y conclusiones generales del trabajo de tesis, a partir de la integración de todos los capítulos. Se suman recomendaciones generales al momento de seleccionar especies nativas y/o naturalizadas para CVE.

En el Anexo I, se adjunta la Figura Suplementaria 1.1, la cual muestra la ubicación de los ensayos de CVE realizados en el Campus de la Universidad Católica de Córdoba, para poder llevar a cabo los objetivos específicos propuestos.

---

## CAPÍTULO 2

### ESPECIES NATIVAS Y/O NATURALIZADAS CON POTENCIAL DE USO EN CUBIERTAS VEGETADAS EXTENSIVAS EN REGIONES SEMIÁRIDAS DEL CENTRO DE ARGENTINA

#### 2.1 Introducción

##### 2.1.1 Cubiertas vegetadas de tipo extensivo: un desafío para la capa vegetal. Enfoques de búsqueda y selección de especies

Las áreas urbanas presentan diferentes tipos de estrés y disturbios intensos que imponen nuevas presiones de selección en las especies vegetales con respecto a los ambientes naturales (Grimm et al., 2008). Las CVE, son cada vez más visibles en el contexto urbano (Nagase y Dunnett, 2010). En general, el éxito y rendimiento de una CVE depende en gran medida de la correcta selección de las especies utilizadas en relación a los servicios ambientales que pueden otorgar en función a la ecorregión en donde se emplacen (Getter y Rowe, 2006; Oberdorfer et al., 2007; Robbiati et al., 2022). La baja profundidad del sustrato y el escaso mantenimiento que las caracteriza limita el rango de especies posibles con respecto a sistemas de tipo intensivo y/o semi intensivo (Nagase y Dunnett, 2010). Sin embargo, muchas veces se ignora la posibilidad de que el entorno urbano pueda acoger gran cantidad de diversidad y funciones equivalentes a los ambientes naturales como aquellos montañosos y praderas (Lundholm, 2006; Lundholm y Richardson, 2010). En este sentido, uno de los enfoques de selección de especies para CVE más difundidos es el de los hábitats modelos o análogos (del inglés “*habitat template*”). Este concepto, fue planteado por Southwood (1977) para diferentes grupos de organismos, y retomado por Lundholm (2006) para la búsqueda de especies vegetales con potencial de uso en ecosistemas construidos. El mismo admite que los hábitats locales pueden compartir características similares a las condiciones que se presentan en una CVE (i.e., suelos poco profundos, exposición a alta radiación, bajo aporte hídrico). De acuerdo a Dunnett y Kingsbury

(2008) los ecosistemas de praderas, pastizales o montañosos con afloramientos rocosos o suelos arenosos, bien drenados, poco profundos, expuestos al sol y al viento, le confieren a una planta o a una comunidad vegetal adaptaciones coincidentes al ambiente creado en una CVE. Catalano et al. (2021) resaltaron la importancia de considerar un enfoque fitosociológico, es decir, teniendo en cuenta ensambles de plantas que crezcan y se desarrollen en un mismo ambiente natural. Numerosos autores han basado su primera selección de vegetación bajo esta hipótesis. Por ejemplo, Nagase y Tashiro-Ishii (2018) evaluaron una comunidad de plantas herbáceas proveniente de una costa rocosa marítima en Japón; Sutton et al. (2012) estudiaron el desempeño de especies de gramíneas pertenecientes a una pradera en América del Norte; Benvenuti y Bacci (2010) experimentaron el desempeño de herbáceas de bordes de caminos en Italia; Caneva et al. (2015) evaluaron plantas potenciales provenientes de un clima mediterráneo en base a características sinecológicas, estructurales y auto ecológicas, entre muchos otros ejemplos. En un clima mediterráneo del sur de Francia, Van Mechelen y colaboradores (2014a) seleccionaron 142 especies a las cuales sumaron una serie de características como la longitud del período de floración, la tolerancia a la sequía, la morfología de la hoja, y la vía fotosintética, el sistema radicular, y la forma de vida de las plantas según la clasificación de Raunkiaer. Este punto se enfatizó en considerar especies de forma de vida hemicriptófitas (i.e., hierbas perennes con brotes a nivel de suelo), terófitas (plantas anuales, con semillas que perduran en época desfavorable), y geófitas (plantas perennes con brotes subterráneos) (Raunkiaer, 1934).

Ha sido ampliamente demostrado que la forma de crecimiento suculenta puede sobrevivir y prosperar en estos sistemas extremos y destacarse de aquellas no suculentas (Monterusso et al., 2005; Durhman et al., 2007; Getter y Rowe, 2006; Rowe et al., 2006). A nivel global se ha generalizado el uso de especies del género *Sedum* perteneciente a la familia de las Crassulaceae. Esta familia comprende más de 400 especies y más de mil variedades (Emilsson y Rolf, 2005; Dunnett y Kingsbury, 2008). En su ambiente natural las especies de *Sedum* crecen sobre y entre piedras, laderas de montañas y suelos poco profundos (Lundholm, 2006). Además, presentan gran diversidad de formas, colores y tamaños, se propagan fácilmente, logran coberturas del 100 % en un período relativamente corto y su sistema radicular poco desarrollado, les permite crecer en sustratos de solo 0,02 a 0,05 m de profundidad (Monterusso et al., 2005; Nagase y Dunnett, 2010). La estrategia de vida estrés-tolerante de las crasuláceas les otorga la particularidad de sobrevivir a largos períodos de sequía (Grime, 2001; Snodgrass y McIntyre, 2010). Además, maximizan su rendimiento al utilizar la vía fotosintética C3 bajo condiciones

ideales, mientras cambian temporalmente a la vía metabólica CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas) ante condiciones de estrés hídrico severo, características que las definen como especies facultativas (Kluge, 1977). Este mecanismo evita la pérdida de agua por evapotranspiración durante el día facilitando su supervivencia (Rayner et al., 2016). Durante décadas las CVE implantadas con *Sedum* se han convertido en el diseño estándar predominante de la industria hasta el punto de convertirse en sistemas uniformes “listos para usar” (Snodgrass y Snodgrass, 2006). Otros géneros de crasuláceas comunes son *Sempervivum* sp., *Delosperma* sp. o cactáceas del género *Opuntia* también son empleados con frecuencia en estos sistemas (Snodgrass y McIntyre, 2010; Schneider et al., 2014). Todas estas ventajas no sólo han expandido su comercialización, reduciendo costos iniciales de plantación y/o replantación sino que continúa siendo el género modelo en numerosas investigaciones de desempeño vegetal en CV (Emilsson, 2008).

No obstante, a medida que se avanza en el conocimiento respecto en las servicios que brindan las CV, se han encontrado algunas limitaciones cuando los diseños son dominados completamente por especies conservativas (i.e., especies eficientes en el uso de recursos hídrico) como las del género *Sedum* (Vasl y Heim, 2016). Por ejemplo, al presentar tasas de evapotranspiración bajas, su consumo de agua es menor, lo cual disminuye el potencial de enfriamiento y la detención y la retención del agua de lluvia (Wolf y Lundholm, 2008; Lundholm et al., 2010; Blanusa et al., 2013; Cascone, 2019). En relación a esto y en búsqueda de diseños más diversificados (Lundholm, 2015), se ha comenzado a incorporar especies con diferentes estructuras como herbáceas (i.e., *Allium* sp., *Solidago* sp.) y gramíneas (i.e., *Bromus* sp., *Festuca* sp., o *Carex* sp., etc.) (Snodgrass y Snodgrass, 2008; Van Mechelen et al., 2014b). El uso de especies con diferentes períodos y longitud en su floración estimulan la abundancia y riqueza de la fauna local y particularmente de grupos funcionales como los polinizadores. Por lo que la abundancia y riqueza en la floración también ha sido un criterio de selección de plantas (Benvenuti y Bacci, 2010; Nagase y Tashiro-Ishii, 2018; Calviño et al., 2023).

En términos generales, un rápido establecimiento, una cobertura vegetal alta y una baja mortalidad son características deseables en el proceso de selección de especies vegetales para CV (Monterusso et al., 2005; Boussetot et al., 2010; Sendo et al., 2010). Las normas alemanas proponen que las especies sean nativas del lugar, que presenten estrategias estrés tolerantes, que se adapten a sustratos livianos, bien drenados, poco profundos, de bajo requerimientos nutricionales, que presenten características estéticas (i.e., diferentes ciclos fenológicos, estructura, textura, etc.), que estén disponibles en el mercado local y que mantengan una cobertura vegetal mayor o igual al 60 % luego de un año desde su establecimiento (FLL, 2008).

### **2.1.2 Plantas nativas para el diseño de cubiertas vegetadas de bajo mantenimiento de regiones semiáridas**

Actualmente existe una tendencia importante a ampliar la diversidad de especies a incorporar en ecosistemas urbanos para incrementar los servicios ecosistémicos que estos proveen con revalorización de la flora nativa (Butler et al., 2012; Madre et al., 2014). Es así que su extendida demanda se ha fomentado principalmente desde tres disciplinas, la ecología del paisaje, la ecología urbana y la reconciliación ecológica (Sutton, 2015; Rosenzweig, 2016). El concepto de reconciliación ecológica refiere a la modificación de ambientes antropogénicos para promover la preservación de la diversidad biológica en áreas urbanas, a través de la creación de habitats exclusivos para la conservación de especies (Rosenzweig, 2003). Los sistemas de CV pueden formar parte de esta reconciliación entre humanos y la naturaleza (Francis y Lorimer, 2011; Lundholm, 2015b).

Una planta nativa, autóctona o indígena puede ser definida como aquella que durante cientos o miles de años se ha desarrollado en un determinada región o ecosistema (Sérsic et al., 2015). Butler et al. (2012) destacaron cuatro de las principales razones para promover el uso de recursos fitogenéticos nativos en CVE. La primera de ella está dada por la adaptación, las plantas nativas están adaptadas a las condiciones microclimáticas locales de donde evolucionaron. A esto se le atribuye un menor uso de recursos como agua, fertilizantes y mantenimiento. Además, funcionan como refugio para otras especies, brindando hábitats para la fauna silvestre asociada. En general, son más atractivas a los polinizadores que las plantas exóticas o no nativas, jugando un rol prominente en la conservación y diversidad de los insectos (Brenneisen, 2006). Por otro lado, son menos propensas a convertirse en invasoras que las plantas no nativas (Cook-Patton, 2015). Desde el punto de vista socio cultural, proporcionan

sensación de bienestar y de pertenencia al lugar, revalorizando e integrándose al paisaje circundante.

A pesar de estas importantes ventajas, en la superficie de una construcción edilicia se genera un ambiente desafiante para el crecimiento y desarrollo de la vegetación que pueden ser muy diferentes con respecto a aquellas a nivel de suelo (Farrell et al., 2012). Por lo que no toda especie nativa es capaz de adaptarse a las condiciones de un ecosistema artificial como las CVE (Butler et al., 2012; Farrell et al., 2012; Arabi et al., 2015).

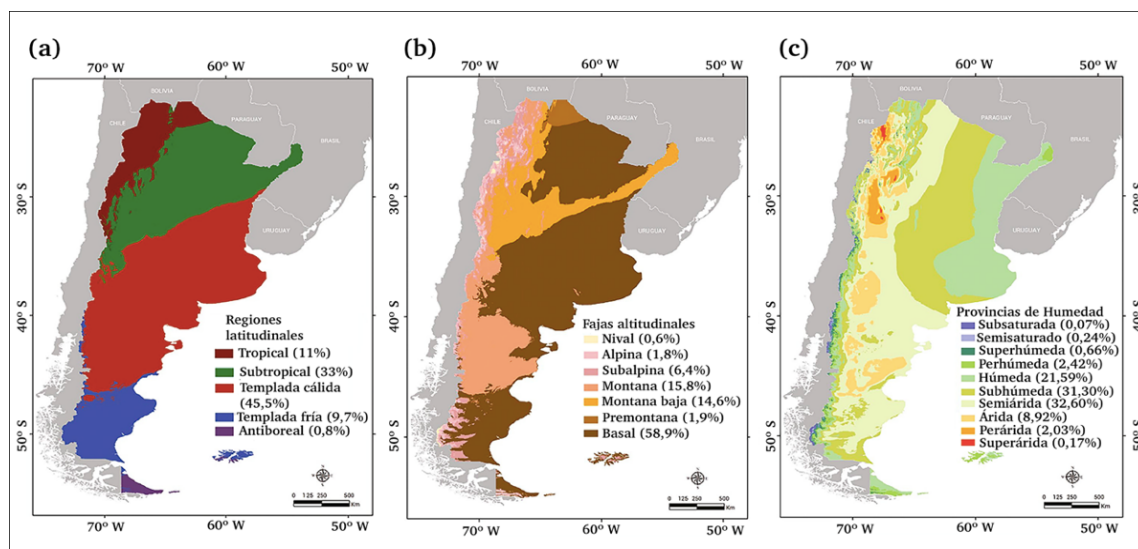
En estos sistemas, la capa vegetal debe adecuarse a intensas radiaciones solares, fuertes vientos, al régimen de precipitación local, a la profundidad y composición del sustrato empleado, así como a las fluctuaciones de calentamiento-enfriamiento del mismo y los recursos disponibles (i.e., agua, nutrientes) (Oberndorfer et al., 2007; Dunnett y Kingsbury, 2008; Getter et al., 2009). El sustrato de estos sistemas es propenso a calentarse (y/o enfriarse) con altas temperaturas al presentar poca profundidad, afectando el desempeño de las especies vegetales. En consonancia con esto, a lo referido a las condiciones de régimen hídrico, si bien las especies nativas están adaptadas al régimen de precipitaciones locales, este calentamiento puede incrementar la pérdida de agua disponible para las plantas, por una tasa de evapotranspiración más elevada (Getter y Rowe, 2006). Todos estos factores están interrelacionados y se asocian al lugar donde se encuentra emplazada la construcción edilicia, a su altura, a su orientación, a su pendiente, la presencia o ausencia de parapeto u otro edificio, y al manejo que se haga en general, etc. (Arabi et al., 2015; Buckland-Nicks et al., 2016). Se suman a estas condiciones aquellos factores de origen biológico como las interacciones intra e interespecíficas de las especies implantadas, la colonización por vegetación espontánea, así como la interacción con otros grupos de organismos (i.e., líquenes, insectos, arañas, aves, microorganismos del sustrato, enfermedades y/o plagas) (Dunnett y Kingsbury, 2008; Oberndorfer et al., 2007; Li y Yeung, 2014). Estas interacciones modelan la heterogeneidad espacio temporal de la CVE e influyen en el desempeño de la vegetación, y por lo tanto en los procesos y/o servicios ecosistémicas provistos (Farrell et al., 2012; Buckland-Nicks et al., 2016).

Múltiples autores enfatizan el uso de especies florales que aumenten la abundancia y riqueza de la fauna local y particularmente de grupos funcionales como los polinizadores (Benvenuti y Bacci, 2010; Nagase y Tashiro-Ishii, 2018; Calvino et al., 2022).

Gran parte de las condiciones que se imponen en una CVE se intensifican aún más en climas áridos y semiáridos como las del centro de Argentina en donde existe una gran amplitud térmica, con veranos muy calurosos, e inviernos fríos y secos, con eventos de precipitaciones escasos y estacionales (Farrell et al., 2012; Razzaghmanesh et al., 2014a; Suárez, 2020). En estas zonas se ha avanzado en la evaluación de especies nativas para su uso en CV. Por ejemplo, Flores Asín (2019) en la ciudad de Mendoza llevó a cabo estudios experimentales del desempeño biológico de un pool de 14 especies nativas, en donde *Hyalis argentea* y *Nassella tenuissima* alcanzaron porcentajes de cobertura mayor al 72 % después de cuatro ciclos de crecimiento. En la ciudad de Córdoba, Suárez (2020) evaluó dieciséis híbridos del género *Glandularia* bajo condiciones de mínimo mantenimiento en una CV semi intensiva, encontrando que tres de ellos lograron una cobertura mayor 85 % después de tres ciclos de selección; en tanto que Calviño et al. (2023) compararon el desempeño de vegetación nativa y exótica bajo diferentes condiciones de mantenimiento.

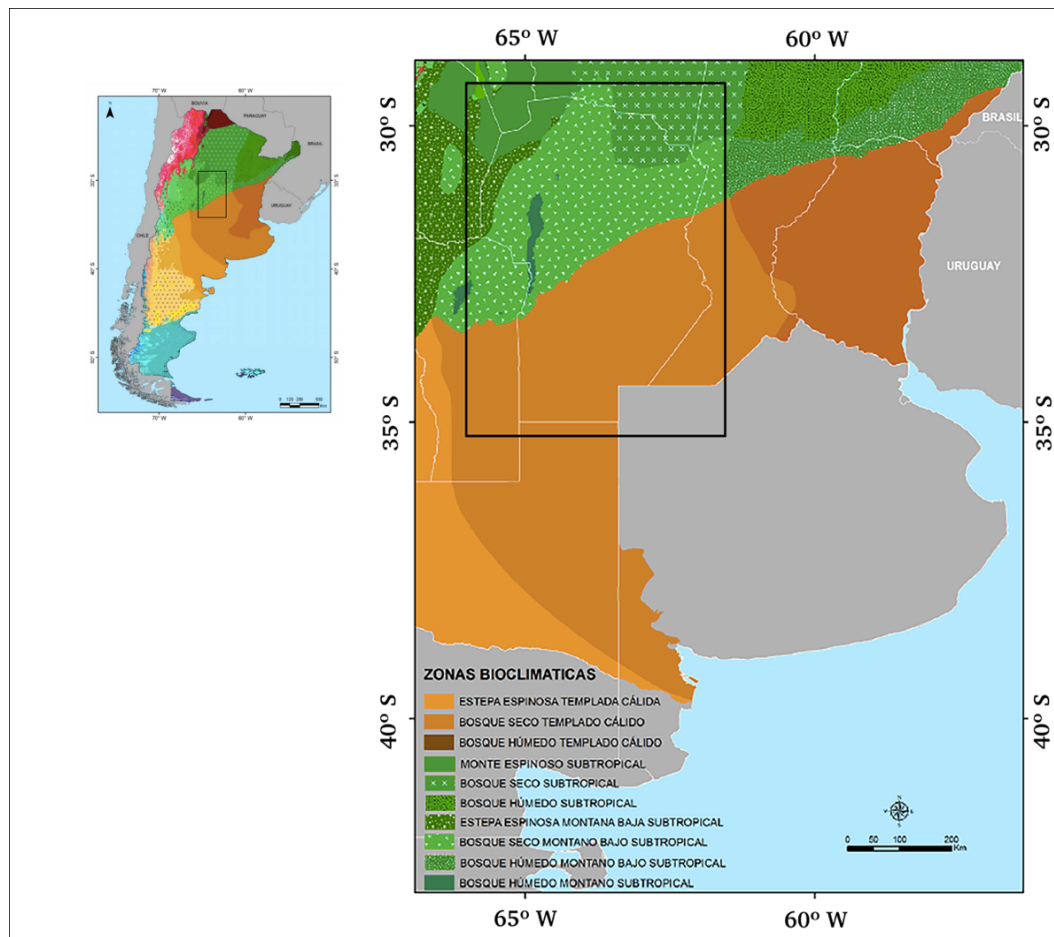
### **2.1.3 Caracterización bioclimática de la región central de Argentina.**

El modelo de zonificación ecológica de Holdridge describe la gran heterogeneidad ambiental bioclimática del territorio argentino (Derguy, 2020). Este modelo de clasificación describe 5 regiones latitudinales (desde Tropical hasta Antiboreal), 7 fajas altitudinales (desde Basal a Nival) y 10 provincias de humedad (desde Superárido hasta Subsaturado), las cuales determinan diferentes zonas de vida. Una zona de vida según Holdridge se define como una unidad homogénea a partir de la asociación de variables bioclimáticas: la biotemperatura (BT), la precipitación total anual (P), la evapotranspiración potencial (EVTP), la latitud y la altitud (Figura 2.1) (Derguy, 2020).



**Figura 2.1** Zonificación ecológica de Holdridge para la República Argentina **(a)** Regiones latitudinales **(b)** Regiones altitudinales **(c)** Provincias de humedad **(Fuente: Derguy, 2020).**

En la Figura 2.2 se detallan las regiones bioclimáticas para el centro de Argentina caracterizada por presentar dos regiones latitudinales: la Región Subtropical (en tonos de color verde), con siete zonas de vida (Monte espinoso Subtropical; Bosque seco subtropical; Bosque Húmedo Subtropical; Estepa Espinosa Montana Baja Subtropical; Bosque Seco Montano Bajo Subtropical; Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical y Bosque Húmedo Montano Subtropical), y la Región Templada Cálida (en tonos anaranjados) con 3 zonas de vida (Estepa Espinosa Templada Cálida, Bosque Seco Templado Cálido y Bosque Húmedo Templado Cálido) (Derguy, 2020). La provincia de Córdoba (dentro del rectángulo de borde negro en la Figura 2.2) presenta seis de estas zonas de vida: (1) Bosque Seco Montano Bajo Subtropical (BT entre 12 y 19,8 °C, P entre 500 a 1000 mm anuales, EVTP entre 1 a 2); (2) Bosque Húmedo Montano Subtropical (BT entre 6 y 12 °C, P entre 500 y 1000 mm y EVTP entre 0,5 y 1); (3) Estepa Espinosa Montana Baja Subtropical (BT entre 12 y 19,8 °C; P 250 a 500 mm y EVTP de 2 a 4); (4) Monte Espinoso Subtropical (BT entre 19,8 y 24 °C, P entre 250 y 500 mm anuales y EVTP se encuentra entre 2 y 4) (5) Bosque Seco Subtropical (BT entre 19,8 y 24 °C, P entre 500 y 1000 mm y EVTP 1 y 2) (6) Bosque Seco Templado Cálido (BT entre 12 y 19,8 °C, P entre 500 a 1000 mm anuales, y EVT entre 1 a 2) (Derguy, 2020).



**Figura 2.2** Mapa de zonas de vida para el centro de Argentina. El recuadro en negro de la derecha marca la ubicación de la provincia de Córdoba (**Adaptado de:** Derguy, 2020).

En esta gran variabilidad climática, se estima que la flora vascular argentina comprende un total de 248 familias distribuidas en 1927 géneros con 9690 especies, de los cuales 45 géneros y 1906 especies son de carácter endémico (Zuloaga y Morrone, 1999). La existencia de dicha riqueza florística y diversidad de ambientes constituye un recurso de gran importancia para el desarrollo e implementación de CV en la región central, ya que en ella sería posible encontrar especies de plantas con potencial de uso y así ampliar la diversidad vegetal en las CVE.

De acuerdo a Soto et al. (2011) los viajes de exploración y recolección de germoplasma deben planificarse y realizarse en base a criterios de interés de alguna característica en particular (i.e., de hábitat, cobertura, floración, etc.) donde la estación del año juega un papel importante para identificar las mismas. Se presenta un segundo desafío que es propagar el material vegetal y cultivarlo en condiciones artificiales, para luego caracterizarlos de acuerdo a los objetivos propuestos. Esto permitiría identificar ventajas (y/o desventajas) como por ejemplo el desempeño vegetal en términos de su supervivencia, su cobertura vegetal, longitud en la

floración y características morfo-funcionales (i.e., área foliar, altura, etc.). Finalmente, se seleccionan aquellos que se hayan destacado como mejores según el objetivo de estudio (Imhof et al., 2018; Facciuto et al., 2019; Suárez et al., 2019).

## **2.2 Hipótesis**

Los ambientes naturales pueden presentarse como hábitats análogos a las CVE. Estas similitudes facilitan la selección del germoplasma nativo para ser implementado en ecosistemas contruidos de bajo mantenimiento. Conociendo el hábitat y la variabilidad de las especies será posible seleccionar aquellas con mayor desempeño vegetal para CVE del centro de Argentina.

## **2.3 Objetivos**

1.a Explorar y recolectar especies nativas y/o naturalizadas de la provincia de Córdoba con potencial de uso en CVE.

1.b Evaluar y seleccionar por desempeño vegetal especies nativas y/o naturalizadas de la provincia de Córdoba para su uso en CVE.

## **2.4 Materiales y Métodos**

### **2.4.1 Exploración y recolección de material vegetal**

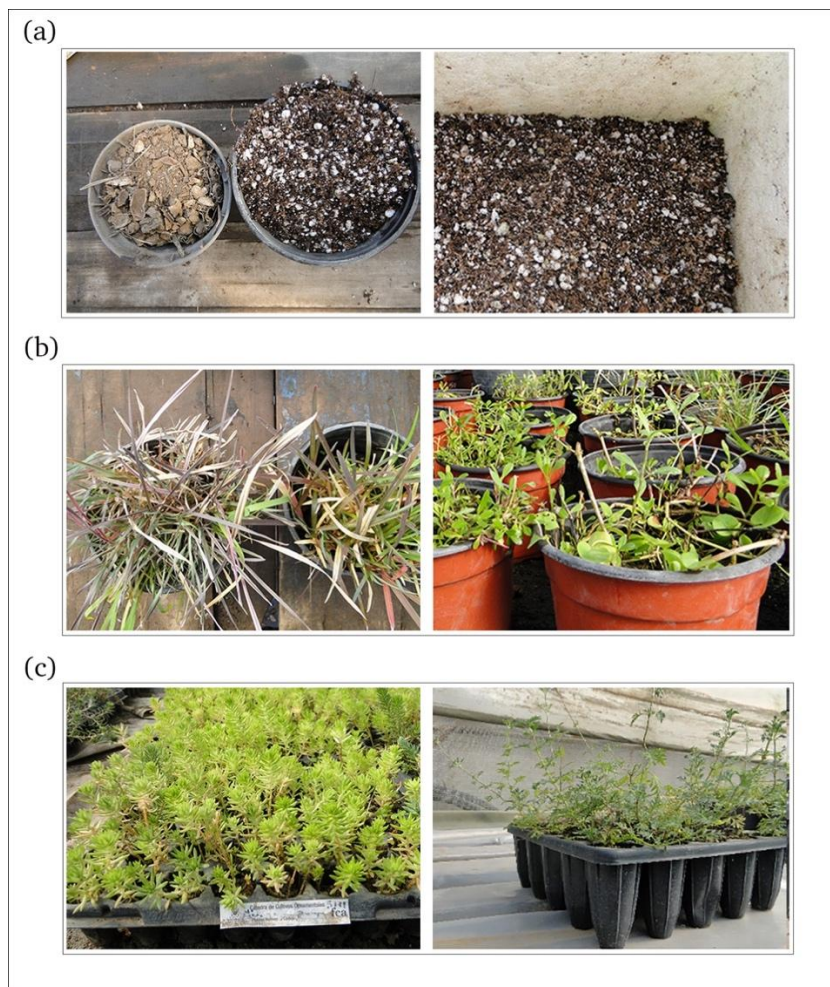
Para la búsqueda de material vegetal con potencial de uso en CVE se consultó bibliografía como la Guía de Flores del centro de Argentina (Sérsic et al., 2015). Para determinar los sitios de recolección, se revisó la base de datos del Instituto de Botánica Darwinion (<https://www.darwin.edu.ar>) y materiales de herbario depositados en el Museo Botánico de Córdoba (<https://museobotanico.unc.edu.ar/>), así como también se consultó a profesionales del Laboratorio de Recursos Genéticos y Sustentabilidad Bioclimática (LRGySB) de la UCC y del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV - Universidad Nacional de Córdoba-CONICET). Con esta información, se solicitó el permiso de recolección en la Secretaria de Ambiente de la Provincia de Córdoba.

Los viajes de exploración y recolección se realizaron en la región noroeste de la provincia de Córdoba, y en la ciudad de Córdoba entre mediados de agosto y octubre del año 2016. Para la recolección de las especies se proyectaron transectas, manteniendo una distancia de 500 m<sup>2</sup> como mínimo entre sitio y sitio. Se utilizó el método de cuadratas determinando parcelas de 5 m<sup>2</sup> de superficie (Dierschke, 1994). En cada parcela, se tomó al menos 1 muestra por especie

de 3 a 5 individuos. Los sitios se geolocalizaron (a menos que no hubiera conexión o señal a internet) y fueron fotografiados. Los sitios se caracterizaron de acuerdo al pH; al porcentaje de materia orgánica (% MO), de fósforo (% P), de variables granulométricas (% arena, % limo y % arcilla) en el horizonte superficial (20 cm). Dicha información se obtuvo de la Carta de Suelos provista por la base de datos de Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR, <https://www.idecor.gob.ar/>).

Se buscaron especies de diferentes formas de crecimiento: herbáceas bajas y rastreras (< 0,20 m de altura), herbáceas altas y erguidas (> 0,30 m de altura) y graminoides (especies de la familia Poaceae u otras monocotiledóneas). Se tuvieron en cuenta características de planta como por ejemplo, la capacidad de cobertura, floración, densidad individuos por m<sup>2</sup>, etc. (Imhof, 2013; Van Mechelen et al., 2014a). Se recolectaron órganos vegetativos sanos (tallos y macollos) sin signos de enfermedad o daño físico (i.e., daño en tallo o en las hojas). Los tallos fueron cortados con tijera de podar, y se colocaron en bolsas con cierre hermético y bajo condiciones de frío (temperaturas cercanas a los 4 °C) en conservadoras portátiles, para evitar la transpiración excesiva de los materiales hasta su cultivo en invernáculo. Cuando el material se obtuvo a partir de matas, como en el caso de las gramíneas o algunas herbáceas rastreras, las mismas fueron trasplantadas con pan de tierra in situ a macetas de 0,75 litros y en envases de 3 litros. Para estas actividades se siguió la metodología propuesta por Soto et al. (2011).

Todo material vegetal recolectado se cultivó en el invernáculo del LRGySB de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCC (31 °29'12" S; 64 °14 ' 32" O). El material se cultivó en estas condiciones por un período de 30 a 45 días, desde mediados de septiembre hasta fines de octubre de 2016. Con los tallos recolectados se realizaron esquejes de 0,10-0,15 m de largo para lo cual se utilizaron tijeras de poda filosas y desinfectadas para evitar desgarrar el material y romper los tejidos. Los esquejes se dispusieron en bandejas de germinación multicelda de 25 alvéolos. Se utilizó un sustrato liviano compuesto de una mezcla de turba y perlita agrícola en proporción 1:1 (v/v). A cada esqueje se le aplicó una hormona de enraizamiento sintética en polvo (Ácido Indol Butírico: IBA, 2.500 ppm) en el último nudo libre del tallo (i.e., sin hojas), dejando 0,005 m de tallo debajo del mismo. Las bandejas se colocaron en un sistema de cama caliente para optimizar el proceso de enraizamiento. Los macollos recolectados se dividieron y colocaron en macetas de 0,75 litros utilizando como sustrato a una mezcla de 40 % de tierra negra de descarte de obra, 20 % de cáscara de maní, 20 % compost equino y 20 % perlita agrícola (Figura 2.3).



**Figura 2.3** Cultivo en invernáculo (a) mezcla de sustrato empleado para la propagación del material vegetal: tierra negra de descarte de obra, cáscara de maní, compost equino y perlita (proporción 3:1:1:1 v/v; (b) *Eustachys retusa* y *Phyla nodiflora* en maceta de 0,75 litros (c) bandejas multiceldas para esquejes de *S. mexicanum* y *G. x hybr.*

#### 2.4.2 Identificación taxonómica de las especies recolectadas

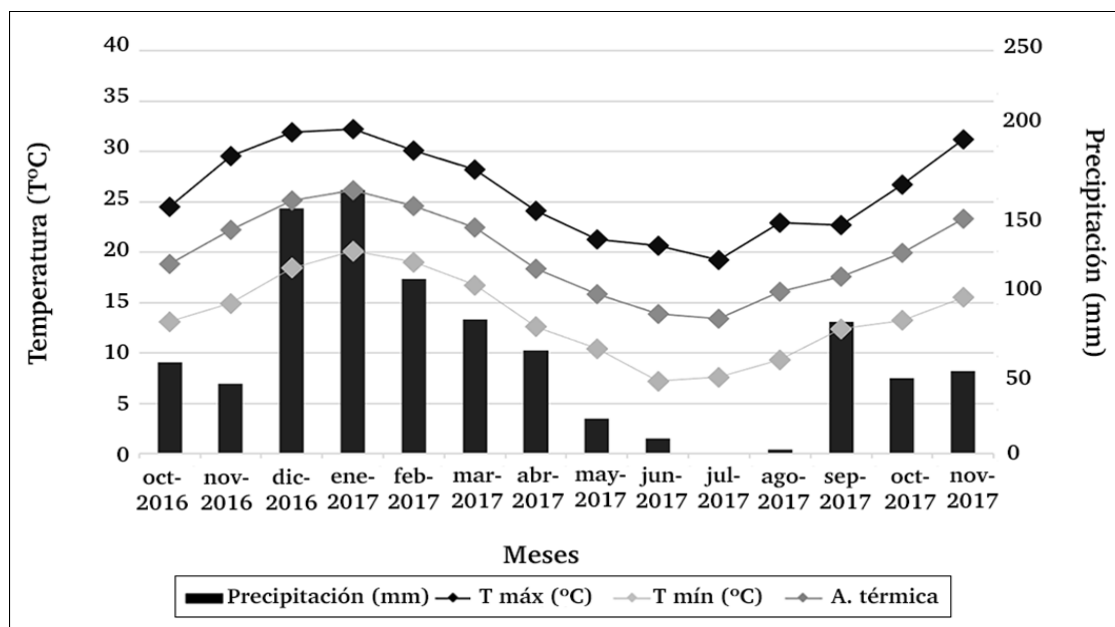
Las especies fueron identificadas con el apoyo de profesionales del herbario de la UCC, del IMBIV y de la Cátedra de Espacios Verdes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cuyo. Además, se consultaron páginas webs como el Instituto de Botánica Darwinion, la Flora de Argentina y guías de identificación (Sérsic et al., 2015; Jewsbury et al., 2016). Cada especie recolectada se ingresó en un atlas botánico del LRGySB y se les asignó un código de identificación (Soto et al., 2011).

Se sumaron a la lista dos especies complementarias brindadas por el equipo de investigación del LRGySB. Las mismas fueron: un híbrido de *Glandularia* (#11, *G. x hybr.*) (Verbenaceae) producto de un programa de fitomejoramiento genético seleccionado para su potencial de uso en macetas, canteros y sistemas de cubiertas vegetadas semi-extensivas (Imhof, 2013; Suárez, 2020); y una especie del género *Sedum*, *S. mexicanum* Britton (Crassulaceae) mencionado

anteriormente, la cual fue implementada como especie control por su excelente desempeño y amplio uso en CVE a nivel global (Li y Yeung, 2014).

### **2.4.3 Construcción de ensayo de cubierta vegetal extensiva en condiciones de monocultivo**

Para la caracterización de las especies preseleccionadas por su éxito de cultivo se construyó un ensayo de CVE en el Campus de la UCC (Anexo I; Figura Suplementaria I.1). La evaluación tuvo una duración de 414 días, desde mediados de octubre 2016 hasta fines de noviembre 2017. Se solicitaron datos de temperatura máxima ( $T_{\text{máx.}}$ ), mínima ( $T_{\text{mín.}}$ ) y precipitación media anual al Servicio Meteorológico Nacional ([www.smn.gob.ar](http://www.smn.gob.ar)) de la estación Observatorio Hidrometeorológico de la provincia de Córdoba ( $31^{\circ}43'43''\text{O}$ ,  $64^{\circ}18'78''\text{S}$ ). Dicha estación se encuentra a una distancia de 5,1 km de la UCC, siendo la más cercana a la misma. El período solicitado abarcó desde fines de octubre 2016 hasta marzo 2017 con una  $T_{\text{máx.}}$  29,4 °C, la  $T_{\text{mín.}}$  de 17,0 °C y la precipitación total fue de 606,7 mm. En la Figura 2.4 se muestra un climograma con la  $T_{\text{máx.}}$  y la  $T_{\text{mín.}}$  media mensual, la A. térmica y la precipitación. Para la temporada de otoño-invierno (período: 22 de marzo a 22 de septiembre, año 2017) la  $T_{\text{máx.}}$  fue de 23,6 °C, la  $T_{\text{mín.}}$  de 11,0 °C y la precipitación total de 276,5 mm. Durante todo el período evaluado la  $T_{\text{máx.}}$  anual fue de 40 °C en enero (2017) y  $T_{\text{mín.}}$  anual fue de -3,6 °C en julio (2017). La amplitud térmica (A. térmica) mensual calculada como  $(T_{\text{máx.}} + T_{\text{mín.}}) / 2$ , y la precipitación mensual de octubre 2016 hasta noviembre 2017.



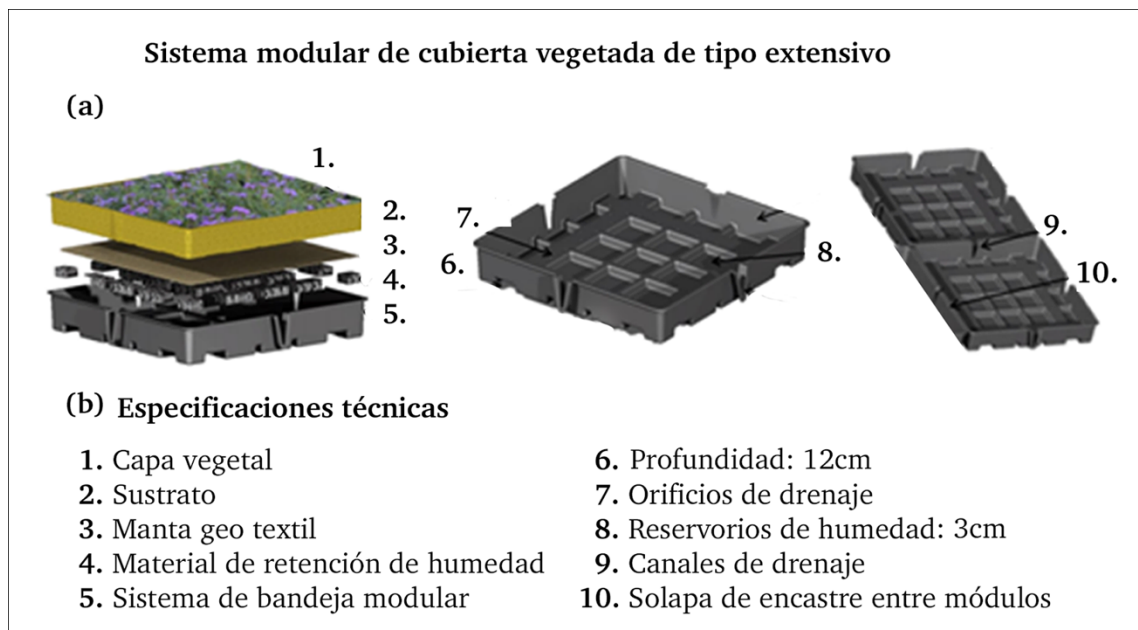
**Figura 2.4** Climograma de temperaturas mensuales (temperatura máxima: T máx.; temperatura mínima: T mín.; amplitud térmica: A. térmica) y precipitación total mensual: Precipitación (mm); barras negras) durante el período evaluado: octubre 2016 a noviembre 2017. **Fuente:** Estación Observatorio Hidrometeorológico-Córdoba, Servicio Meteorológico Nacional.

#### 2.4.3.1 Sistema modular de cubierta vegetada de tipo extensivo

Se utilizó un sistema modular diseñado por el equipo de investigación del LRGySB. El mismo fue patentado en el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (Nº patente: 89368). El material del módulo es de material de fibra de vidrio y presenta una superficie de 1 m<sup>2</sup> (Figura 2.5). Presenta un peso de 80 kg.m<sup>-3</sup> con el agregado de sustrato en seco mientras que, con sustrato saturado alcanza los 110 kg.m<sup>-3</sup>.

El sustrato empleado, que fue previamente seleccionado de diferentes materiales por el equipo de investigación del LRGySB (Suárez et al., 2014), consistió en una mezcla de tierra negra de descarte de obra, perlita agrícola, cáscara de maní y compost equino en proporciones 3:1:1:1 v/v. La tierra negra que se obtuvo a partir de la remoción de los primeros 30 cm de capa de suelo de una obra de una cancha de deportes del Campus de la UCC; el compost equino estacionado se obtuvo de corrales también localizados en el Campus de la UCC, mientras que la cáscara de maní y la perlita agrícola fueron adquiridos de proveedores locales. Se analizaron algunas propiedades físico-químicas del sustrato en un laboratorio de suelos privado. El valor de pH fue de 7,4 y la conductividad eléctrica (CE) de 0,39 ds.m<sup>-1</sup>. Las propiedades físicas analizadas fueron la capacidad de contenido de agua que correspondió a 41,4 %; poros con aire 35,6 %; relación poro/sólido 3,35; densidad de sustrato 0,57 g.cm<sup>-3</sup> y la densidad de partícula

con un valor de  $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ . Se adjunta en el ANEXO II (p. 148) los resultados provistos por el laboratorio correspondiente.

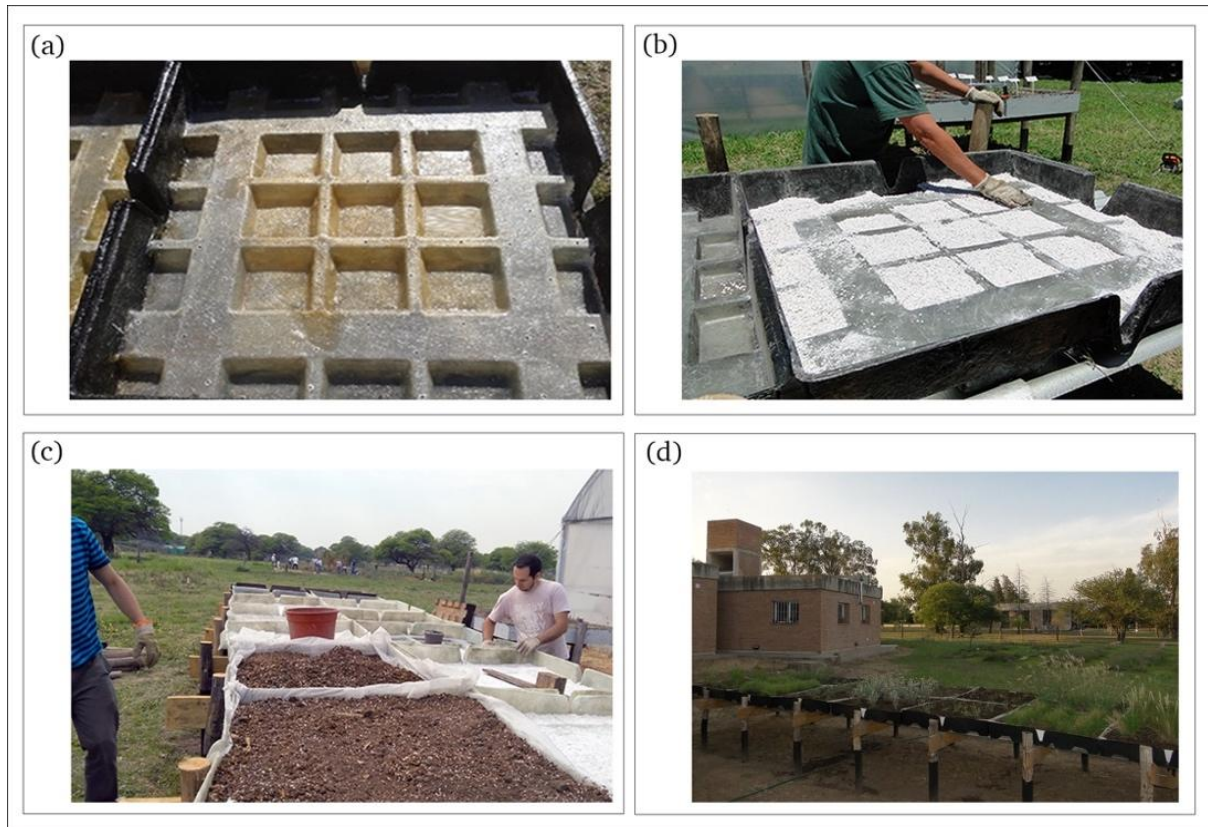


**Figura 2.5 (a)** Esquema del sistema modular de CVE utilizado para la caracterización del germoplasma en condiciones de monocultivo **(b)** Especificaciones técnicas con las diferentes capas del sistema modular de CVE.

Dado que las especies variaron en la forma de crecimiento la densidad de plantación (número de individuos, esquejes y/o mata, por  $\text{m}^2$ ) se configuró de modo tal de estandarizar la cobertura inicial entre un 10 y un 15 % en todos los módulos. Una vez realizado el trasplante de las especies al sistema modular, se proporcionó un riego de implantación de 10 litros durante los primeros 15 días con el propósito de mantener el sustrato húmedo y garantizar el establecimiento adecuado de las plántulas. Luego de este período, considerado como establecimiento de las especies, comenzaron las mediciones (octubre 2016) y el régimen de riego fue cada 15 días, aplicando un volumen de 5 litros durante la época invernal (de abril a agosto) y de 10 litros durante el período estival (de septiembre a marzo). No se agregaron ningún tipo de insumos extra como fertilizante y/o pesticidas durante la etapa de caracterización.

Para facilitar la toma de datos se realizó un mantenimiento mínimo, con desmalezado quincenal donde se podaron los bordes, en caso que el crecimiento de las especies en evaluación interfiriera en módulos vecinos. Se utilizó la superficie de un módulo, es decir  $1 \text{ m}^2$  por especie.

Se armaron dos filas de ocho módulos cada una. Los mismos se despejaron a 1,20 m del nivel del suelo para facilitar el registro de los datos: individuos vivos y que sobrevivieron al trasplante, toma de fotografías. Las mediciones iniciaron a mediados de octubre. En la Figura 2.6 se muestra el proceso del armado del ensayo correspondiente.



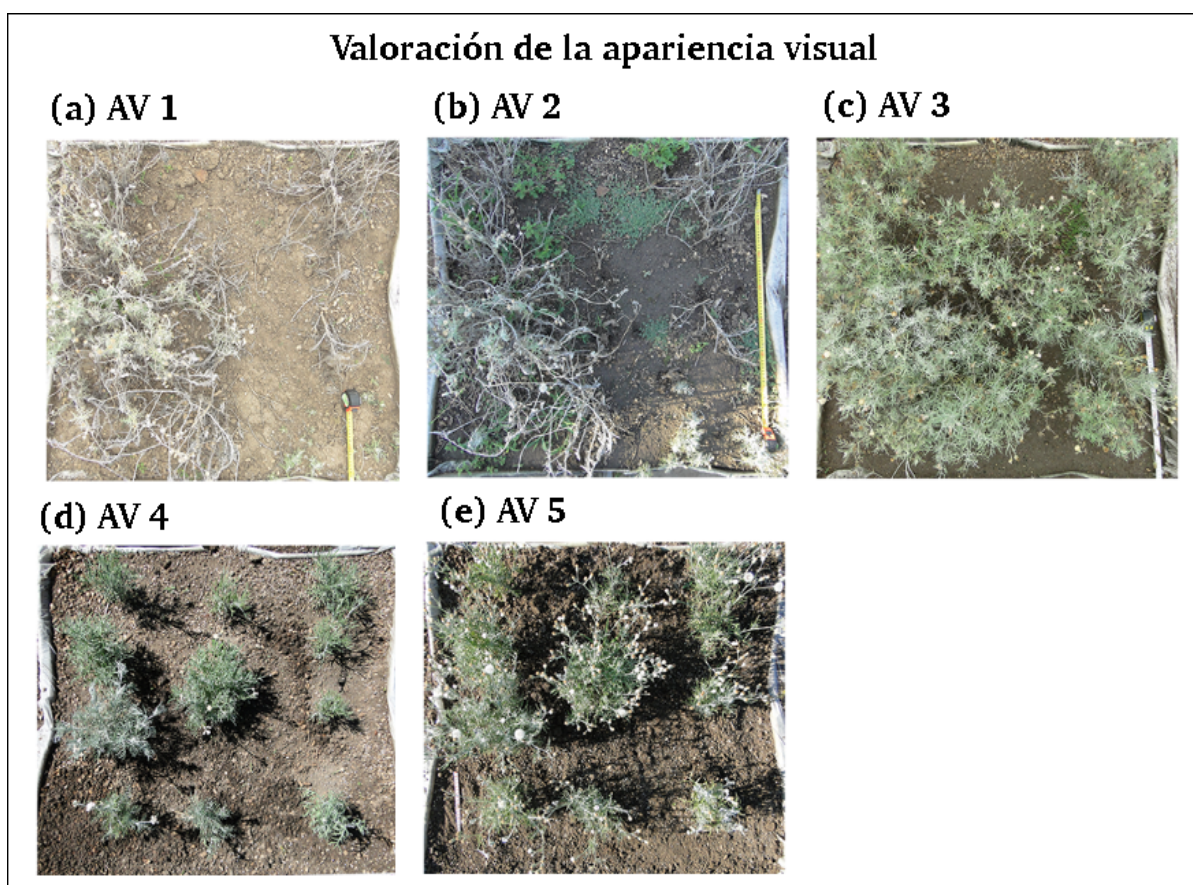
**Figura 2.6** Construcción de ensayo de CVE para la caracterización, evaluación y selección en condiciones de monocultivo de las especies con éxito poscolecta **(a)** Sistema modular de CVE **(b)** Sistema modular con base de perlita agrícola de 3 cm en celdas de humedad **(c)** Colocación de manta geotextil y agregado de sustrato **(d)** Vista general del ensayo.

#### 2.4.4 Indicadores de desempeño vegetal

La caracterización y evaluación en monocultivo de cada especie en condiciones experimentales de CVE se realizó a partir del estudio de (i) la apariencia visual (AV) (ii) la supervivencia (S) y (iii) la cobertura vegetal (CVeg). Se sumaron a la evaluación, el registro del período de floración (a partir del inicio y fin de la floración), la capacidad de resiembra (observación de nuevos individuos) y la capacidad de rebrote (rebrote luego del período de receso y/o ante condiciones de marchitamiento).

### 2.4.4.1 Apariencia visual

La apariencia visual (AV) se determinó asignando una valoración de escala de 1 a 5 siguiendo la metodología propuesta por Monterusso et al. (2005). Se tomó el valor más frecuente entre todos los individuos por especie por modulo. Un valor de AV de 1 correspondió a plantas que mostraron gran porcentaje de marchitamiento ya sea por falta o exceso de agua o manchas necróticas por algún hongo, bacteria o insecto, o mortandad (Figura 2.7 a). Mientras que aquellas especies que mostraron un crecimiento activo y floración el valor de AV correspondió a 5 (Figura 2.7 e). Las observaciones del AV se realizaron en diciembre 2016, febrero, junio, agosto y octubre 2017.



**Figura 2.7** Referencia del valor asignado a cada rango de la Apariencia visual (AV) (rango 1 a 5). Especie ejemplo: *Senecio vira-vira* (a) AV 1: plantas muertas (b) AV 2: plantas con marcado síntomas de marchitamiento, necrosis en hojas y ramas (c) AV 3: plantas con leve estrés, pero con capacidad de resiembra y rebrote (d) AV 4: plantas saludables de activo crecimiento sin evidencia reproductiva (e) AV 5: plantas saludables de activo crecimiento con evidencia reproductiva.

#### 2.4.4.2 Supervivencia

La supervivencia (S) se determinó como el porcentaje de individuos vivos de cada especie al momento de la medición con respecto a la cantidad de individuos vivos al inicio del ensayo.

Es importante mencionar que durante el período de establecimiento (15 primeros días desde el trasplante) puede haber muerte de individuos y esto afectar a la cantidad inicial de individuos.

La frecuencia de medición fue cada 30 días (Suárez, 2020).

#### 2.4.4.3 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal mensual (CVeg) de cada especie se tomó cada 15 días con una cámara Canon Power Shot (Sx700HS) vista desde arriba en plano horizontal a una altura de 1m, ubicando la misma en posición central del módulo. Las fotografías se tomaron entre las 17:00 y las 19:00 hs con el objetivo de unificar la luminosidad del día y evitar el efecto de la sombra. Se colocó una regla de 15cm para establecer una escala de referencia. Las fotos obtenidas se descargaron en formato Tiff a una computadora, se aumentó la resolución a 300 dpi y fueron procesadas a través de un análisis digital de imágenes empleando la herramienta Image J Tool (vs. 1.52a NIH, USA; Rasband, 2018). Se utilizó la herramienta de umbral “*Threshold tool*” para generar un contraste entre la capa vegetal y el sustrato desnudo. Cuando no fue posible realizar el contraste de manera automática por semejanza de colores, se realizó con la herramienta manual “*hand tool*”, dibujando cuidadosamente el contorno del área cubierta de cada especie. Se determinó la superficie de área cubierta con respecto a la superficie del módulo (1 m<sup>2</sup>), para luego determinar el área en porcentaje (CVeg, %).

De acuerdo a los valores de CVeg<sub>Final</sub> (noviembre 2017) obtenidos se establecieron tres grupos siguiendo la metodología propuesta por Suárez (2020) para diferenciar el desempeño de las especies. El Grupo I incluyó especies que lograron un % CVeg > 60; el Grupo II aquellas especies con % CVeg entre 59-45; y el Grupo III especies con % CVeg < 44. Con los valores obtenidos del % CVeg se estableció un ranking de acuerdo a los días hasta lograr la CVeg máxima, y la capacidad de mantenerla constante o mayor al 60 %.

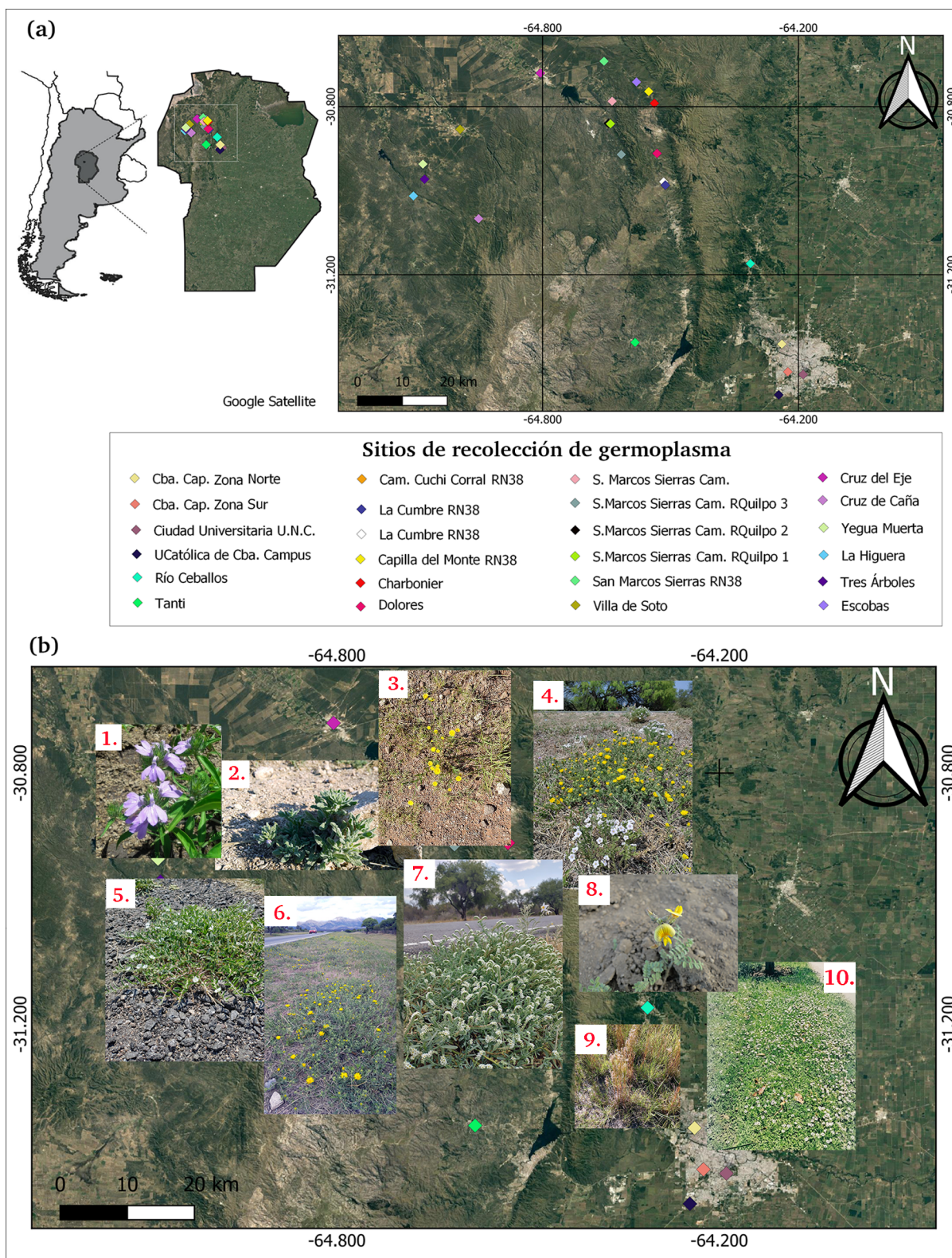
### **2.4.5 Criterios de selección por desempeño de especies nativas y/o naturalizadas con potencial de uso en cubiertas vegetadas extensivas**

La selección de especies por desempeño se realizó en función de su capacidad de reunir las siguientes condiciones:  $S > 80 \%$ , AV que presente mayor frecuencia entre los valores 4 y 5, o que tengan capacidad de recuperación a través del rebrote, es decir,  $AV = 3$ . Además,  $\% CVeg_{final} > 60 \%$  luego de un año de evaluación y que mostraron una dinámica de cobertura estable durante la mayor parte de los meses evaluados. Para las especies seleccionadas por su potencial se construyeron modelos de crecimiento para explorar gráficamente la dinámica de cobertura en función del tiempo (medido en días) y para observar si existían similitudes respecto al crecimiento de la especie control, que en este caso fue una especie del género *Sedum* (*S. mexicanum*). Los modelos de crecimiento para las especies seleccionadas se graficaron utilizando el programa Infostat a partir de regresiones lineales y no lineales (Di Rienzo et al., 2010).

## **2.5 Resultados**

### **2.5.1 Recolección de especies nativas de la provincia de Córdoba**

Se recolectó un total de 27 especies nativas (Figura 2.8 a). Los sitios de donde se recolectaron las especies fueron principalmente banquinas de rutas y caminos de suelos arenosos y pedregosos (Figura 2.8 b). De acuerdo a la Carta de Suelos de la provincia de Córdoba (IDECOR, <https://www.idecor.gob.ar/>) los valores de porcentaje de MO variaron entre 2 y 3,5 %, los valores del contenido de fósforo se encuentran entre el 20 y 60 ppm. El pH de los sitios se encuentra entre 6,8 y 8,4, siendo neutro para la mayoría de los sitios. En cuanto a las variables granulométricas, el contenido de arena entre 30 y 60 %, el contenido de limo entre 25 y 40 %, el contenido de arcilla entre 10 y 25 %. A partir de estos porcentajes, se clasificó el tipo de suelo de acuerdo al triángulo textural provisto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999, p.77) (Tabla 2.1).



**Figura 2.8 (a)** Sitios de recolección de especies nativas de la región NO y centro de la provincia de Córdoba **(b)** Fotografías del ambiente en donde se recolectaron las especies. Los números en color rojo indican algunas de las especies recolectadas: 1. *J. squarrosa* 2. *N. undulatum* 3. *H. jasionoides* 4. *G. cabreræ* 5. *E. arizonocus* 6. *G. cabreræ* 7. *H. curassavicum* 8. *A. grandiflora* 9. *S. condensatum* 10. *P. nodiflora*.

**Tabla 2.1** Caracterización del suelo de los sitios de recolección geo localizados de acuerdo al pH; al porcentaje de materia orgánica (% MO); contenido de fósforo (P ppm); contenido de Arena (%), Limo (%) y Arcilla (%) Datos obtenidos de IDECOR (<https://www.idecor.gob.ar/>). Tpo de suelo según textura (USDA, 1999).

Sitio de recolección	Coordenadas geográficas	pH	MO %	P (ppm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1. UNC-Córdoba Capital	31°43'51'' S, 64°19'21'' O	7- 7,5	2- 2,4	s/dato	30-40	30-35	15-20	Franco
2. Córdoba Capital Zona Sur	31°43'25'' S, 64° 24'45'' O	7,- 7,5	2,4- 2,6	40-60	30-40	40-50	20-25	Franco
3. Córdoba Capital Zona Norte	31°36'74'' S, 64°23'82'' O	7, - 7,5	2,4- 2,6	35-40	25-30	40-50	20-25	Franco
4. La Cumbre	30° 97' 90'' S, 64° 51' 58'' O	6,8- 7	>3,5	15-20	50-60	25-30	10-15	Franco arenoso
5. Dolores-banquina RN38 Km72	30°90'53'' S, 64°53'14'' O	7- 7,5	>3,5	20-22	50-60	30-35	10-15	Franco arenoso
6. Escobas	30°74'32'' S, 64°57'71'' O	7,5- 8,4	3- 3,5	22-26	40-50	30-35	20-25	Franco
7. Charbonier	30°79'0'' S, 64°53'75'' O	7 - 7,5	>3,5	20-22	50-60	30-35	15-20	Franco arenoso
8. Capilla del Monte	30°76'38'' S, 64°55'08'' O	7,5- 8,4	3- 3,5	22-26	40-50	30-35	15-20	Franco
9. San M. Sierras Rio Quilpo	30°84'07'' S, 64°64'05'' O	7- 7,5	3- 3,5	20-22	50-60	30-35	10-15	Franco arenoso
10. S. M. Sierras. Quilpo	30°83'99'' S, 64°64'52'' O	7 - 7,5	3- 3,5	20-22	40-50	35-40	15-20	Franco
11. S. M. Sierras. Quilpo	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	7- 7,5	3- 3,5	20-22	50-60	30-35	10-15	Franco arenoso
12. S. M. Sierras-Banquina Km103	30°78'71'' S, 64°63'68'' O	7,0- 7,5	3- 3,5	30-35	40-50	35-40	15-20	Franco
13. S. M. Sierras. Banquina	°3070'25'' S, 64°69'60'' O	7,0- 7,5	2,6- 3	26-30	40-50	35-40	15-20	Franco
14. S. M. Sierras Banquina	30°69'18'' S, -64°65'58'' O	7,5- 8,4	3- 3,5	22-26	40-50	30-35	15-20	Franco
15. Villa de Soto Yegua Muerta	30°93'67'' S, 65°08'07'' O	7,5- 8,4	2,6- 3	30-35	50-60	25-30	10-15	Franco arenoso

16.	Tres Árboles	30°97'28'' S, 65°07'69'' O	7,0- 7,5	2,4- 2,6	30-35	40-50	35-40	10-15	Franco
17.	Cruz del Eje	30°72'02'' S, 64°80'52'' O	7,5- 8,4	2,2- 2,4	30-35	50-60	30-35	10-15	Franco arenoso

En la Tabla 2.2 se listan todas las especies recolectadas de acuerdo a su forma de crecimiento: herbáceas rastreras, herbáceas de porte alto y/o erguidas, gramíneas/graminoides y suculentas. La sexta columna Éxito (**E**)/No Éxito post colecta (**NE**) hace referencia a aquellas especies que lograron ser domesticadas, cultivadas y propagadas en invernáculo y por lo tanto fueron pre seleccionadas para las etapas de caracterización y evaluación en los módulos experimentales de CVE. Aquellas especies que no sobrevivieron al trasplante, propagación y/o cultivo previo a la implantación en los módulos experimentales fueron descartadas de dicha caracterización.

**Tabla 2.2** Listado total de especies nativas y/o naturalizadas recolectadas en la provincia de Córdoba (n=27). Se enumera la cantidad de lugares en donde se recolectó cada especie (entradas); sitio o lugar de recolección; posición geográfica; tipo de propágulo recolectado (esqueje, mata y/o macollo); Éxito o No Éxito post colecta (**E/NE**); y código de identificación asignado a cada entrada.

#### Herbáceas de porte bajo y rastreras

Plantas que forman un tapiz y se expanden a largo del nivel del suelo y presentan una altura menor a 0,20m

Especies	Entrada	Lugar de colecta	Coord. geográficas	Propágulo colectado	E/NE Post colecta	Código Identificación
<i>Adesmia grandiflora</i> Gillies Ex. Hook. y Arn.	1	Escobas/ banquina RN38 Córdoba	30°74'32'' S, 64°57'71'' O	planta	<b>E</b>	UCCZZA221020 16
	2	Capital/ Ciudad Universitaria	31°43'51'' S, 64°19'21'' O	planta	<b>E</b>	UCCZZB221020 16
<i>Dichondra sericea</i> SW. <i>Holosericeae</i>	1	Cuchi Corral		planta	<b>NE</b>	UCCHHHA1604 2016
	2	Tanti	S/dato	planta	<b>NE</b>	UCCHHHB1604 2016
	3	Río Ceballos		planta	<b>NE</b>	UCCHHHC1604 2016
<i>Evolvulus sericeus</i> SW. Var. <i>sericeus</i>	1	Cuchi Corral- banquina	S/dato	planta	<b>NE</b>	UCCOOA160420 16
	2	La Cumbre – RN E38		planta	<b>NE</b>	UCCOOB201020 16

	3	Campus UCC		planta	NE	UCCOOC22042016
<i>Evolvulus arizonicus</i> A. Gray.	1	San Marcos Sierras RN38	S/dato	planta	NE	UCCPPA22042016
<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	1	San Marcos Sierras-Banquina Charbonier	30°69'18'' S, 64°65'58'' O	Esqueje	E	UCCCCCA10102016
	2	RN 38 Km 91	30°79'19'' S, 64°53'75'' O	Esqueje	E	UCCCCCB10102016
<i>Nama undulatum</i> Kunth.	1	San Marcos Sierras-Camino Río Quilpo	30°84'07'' S, 64°64'05'' O	planta	E	UCCBBBA26092016
<i>Nierembergia</i> sp.	1	Capilla del Monte- RN 38 Km 91	30°76'38'' S, 64°55'08'' O	Esqueje	NE	UCCLLLA2016
	2	San Marcos Sierras-Camino Río Quilpo2	30°83'99'' S, 64°64'52'' O	Esqueje	NE	UCCLLLB2016
<i>Polygala</i> sp.	1	Villa de Soto-Yegua Muerta	30°93'67'' S, 65°08'07'' O	planta	NE	UCCNNA21092016
	2	San Marcos Sierras-Camino Río Quilpo	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	planta	NE	UCCNNB21092016
	3	San Marcos Sierras- RN 38 Banquina	30°70'25'' S, 64°69'60'' O	planta	NE	UCCNNC21092016
<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene	1	Capilla del Monte-banquina	S/dato	planta	E	UCCXXA09092016
	2	Cruz del Eje- cantero	30°72'02'' S, 64°80'52'' O	planta	E	UCCXXB23092016
	3	Córdoba Capital-Cantero. Zona Sur	31°43'25'' S, 64°24'45'' O	Mata	E	UCCXXC15102016
	4	Córdoba Capital-Cantero. Zona Norte	31°36'74'' S, 64°23'82'' O	planta	E	UCCXXD12102016
<i>Scoparia montevidensis</i> Spreng.	1	Villa Soto-Yegua muerta	30°93'67'' S, 65°08'07'' O	planta	E	UCCSSA23042016

	2	Tres Árboles	30°97'28'' S, 65°07'69'' O	planta	E	UCCSSB23042016
	3	Tres Árboles	S/dato	planta	E	UCCSSC23042016
<i>Trichocline plicata</i> D. Don ex Hook. y Arn.	1	Capilla del Monte- RN E38	S/dato	planta	NE	UCCGGGA26112016

**Herbáceas de porte alto y erguidas:**

Plantas sub-leñosas, de porte alto a aquellas cuya altura es superior a 0,20m

Especies	Entrada	Lugar de colecta	Coordenadas geográficas	Propágulo	E/NE post colecta	Código identificación
<i>Gomphrena pulchella</i> Mart.	1	Cuchi Corral-banquina	s/dato	planta	NE	UCCIIA16042016
	2	Soto		planta	NE	UCCIIB20042016
	3	Cruz del Eje		planta	NE	UCCIIC21092016
<i>Grindelia cabreræ</i> Ariza	1	La Cumbre-Banquina	30°97'90'' S, 64°51'58'' O	Esqueje	E	UCCAAAA26092016
	2	Capilla del Monte-banquina RN38	30°76'38'', 64°55'08'' S	Esqueje	E	UCCAAAB26092016
	3	San Marcos Sierras RN38 Km 103	30°78'71'' S, 64°63'68'' O	Esqueje	E	UCCAAAC26092016
<i>Hysterionica jasionoides</i> Willd.	1	Dolores-banquina RN38 km72	30°90'53'' S, 64°53'14'' O	planta	E	UCCTTA23042016
	2	San Marcos Sierras- Río Quilpo 3	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	planta	E	UCCTTB20102016
	3	Cuchi Corral-banquina	S/dato	planta	E	UCCTTD16042016
	1	San Marcos Sierras		planta	E	UCCUUA23042016

<i>Justica squarrosa</i> Griseb.	2	Soto (Yegua Muerta)	30°93'67'' S, 65°08'07'' O	planta	E	UCCUUB09092016
	3	Cruz del Eje		planta	E	UCCUUC09092016
<i>Justica tweediana</i> (Nees.) Griseb.	1	Soto	S/dato	Esqueje	NE	UCCVVA03112016
<i>Lantana megapotamica</i> (Spreng.) Tronc.	1	San Marcos Sierras-Camino Río Quilpo	S/dato	Esqueje	NE	UCCKKA2016
<i>Margyricarpus pinnatus</i> (Lam.) Kuntze.	1	Cuchi Corral-banquina	S/dato	planta	NE	UCCLLA16042016
<i>Menodora integrifolia</i> (Cham. y Schltldl.) Steud.	1	San Marcos Sierras-camino Río Quilpo	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	planta	NE	UCCWW03112016
	2	Soto	S/dato	planta	NE	UCCWW03112016
<i>Senecio viravira</i> Hieron.	1	Campus UCC	31°48'87'' S, 64°24'21'' O	planta	E	UCCFFFA15092016
<i>Zephyranthes</i> sp.	1	Villa Soto-Yegua Muerta	S/dato	planta	NE	UCCJJA09092016
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	1	La Higuera	S/dato	planta	NE	UCCIIIA2016
	2	Cruz del Eje	S/dato	planta	NE	UCCIIIB2016

### Gramíneas y graminoides

especies monocotiledóneas pertenecientes a las siguientes familias: Poaceae (gramíneas), Cyperaceae, Juncaceae, Irideaceae.

Especies	Entrada	Lugar de colecta	Coordenadas geográficas	Tipo de propágulo	E/NE post colecta	Código identificación
<i>Eleocharis</i> sp.	1	San Marcos Sierras-Camino Río Quilpo	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	planta	E	-
<i>Eustachys retusa</i> (Lag.) Kunth.	1	San Marcos Sierras-Camino Río Quilpo	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	planta	E	UCCRA20102016

<i>Melica macra</i> Nees.	1	Cruz de Caña	31°03'58'' S, 64°56'35'' O	planta	E	UCCQQA160420 16
	2	Rio Ceballos	S/dato	planta	E	UCCQQB060620 16
<i>Schizachyrium condensatum</i> (Kunth.) Nees.	1	Ciudad de Córdoba-Baldío	S/dato	planta	E	-
	1	Cuchi Corral-banquina	S/dato	planta	E	UCCMMA16042 016
<i>Sisyrinchium unguiculatum</i> Griseb.	2	Rio Ceballos	S/dato	planta	E	UCCMMB01092 016
	3	Yegua Muerta	30°93'67'' S, 65°08'07'' O	planta	E	UCCMMC22042 016
	4	Ruta E54 banquina La Cumbre San Marcos	S/dato	planta	E	UCCMMD15102 016
	5	Sierras-camino Río Quilpo	30°91'39'' S, 64°61'53'' O	planta	E	UCCMME15102 016

En el Anexo II (p.149-165) se adjuntan fichas botánicas de las 16 especies con éxito postcolecta para su evaluación y selección en CVE.

## 2.5.2 Evaluación del desempeño de monocultivos en condiciones experimentales de cubiertas vegetadas extensivas

### 2.5.2.1 Apariencia visual, período de floración, capacidad de resiembra y rebrote

En las Figuras 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12 se muestra la valoración y el cambio de la AV asignado a cada una de las especies evaluadas (suculenta, herbáceas rastreras, herbáceas altas y gramíneas) para los meses de diciembre 2016, y febrero, junio, agosto, octubre de 2017, respectivamente. La especie control *S. mexicanum* tuvo una excelente AV de 4 y 5 en el período estival. Sin embargo, mostró síntomas de marchitamiento y una notable disminución en su cobertura cuando las temperaturas disminuyeron en época invernal (AV= 2), recuperándose nuevamente por rebrote al comienzo de la primera (septiembre 2017; AV= 3) (Figura 2.9). En cuanto a las especies nativas, *P. nodiflora*, *G. cabreræ* y *E. retusa* también mostraron un activo crecimiento en época primavera-estival (AV= 4 y 5) y latencia en época invernal (AV= 3 y 4), sin afectarse completamente su capa aérea (Figura 2.10 d, 2.11 a y 2.12 c respectivamente). Otras especies

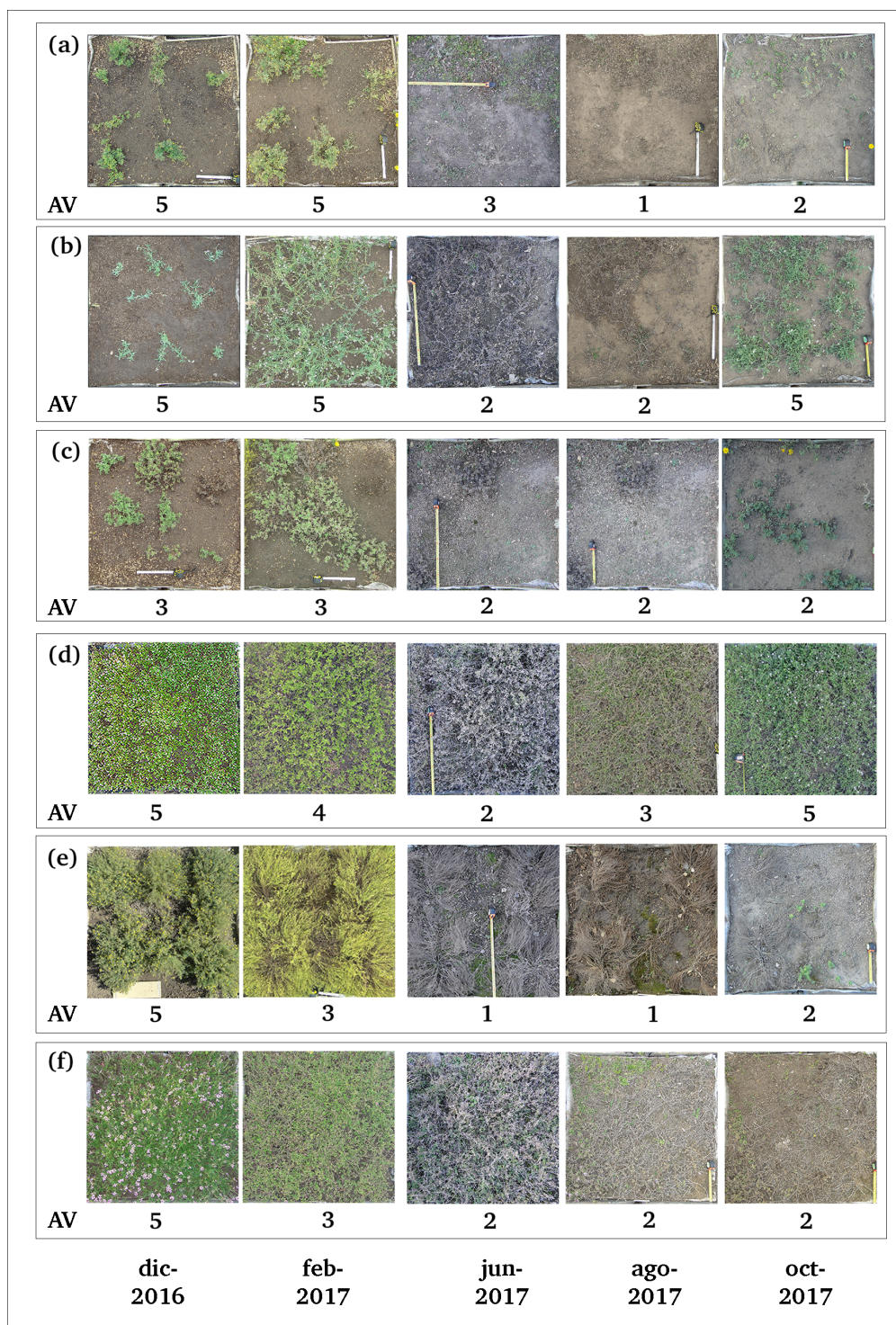
como *G. x hibr.*, *S. montevidensis*, *N. undulatum* (Figura 2.10 c, d, f) y *J. squarrosa* (Figura 2.12 d) presentaron un activo crecimiento y abundante floración en época estival (AV= 5), pero se vieron fuertemente afectadas frente a las bajas temperaturas invernales (AV= 1 y 2). Las especies *H. curassavicum* y *H. jasionoides* entraron en receso invernal ante las bajas temperaturas (AV= 2) (Figura 2.10 b y 2.11 b), y si bien se observó capacidad de rebrote en la primavera (AV= 3), su recuperación fue lenta en comparación al control y a *P. nodiflora*.

*Eleocharis* sp. y *P. nodiflora* sufrieron estrés hídrico, que se evidenció en la marchitez de su follaje. Particularmente, *Eleocharis* sp. mostró mayores fluctuaciones en su AV pasando de un valor igual a 4, a 3 y 2 (Figura 2.12 a), con respecto a *P. nodiflora* (Figura 2.10 d). Sin embargo, frente al aporte de riego mínimo (riego de 5 litros.m<sup>-2</sup>) mostraron una muy buena supervivencia final (> 80 %).

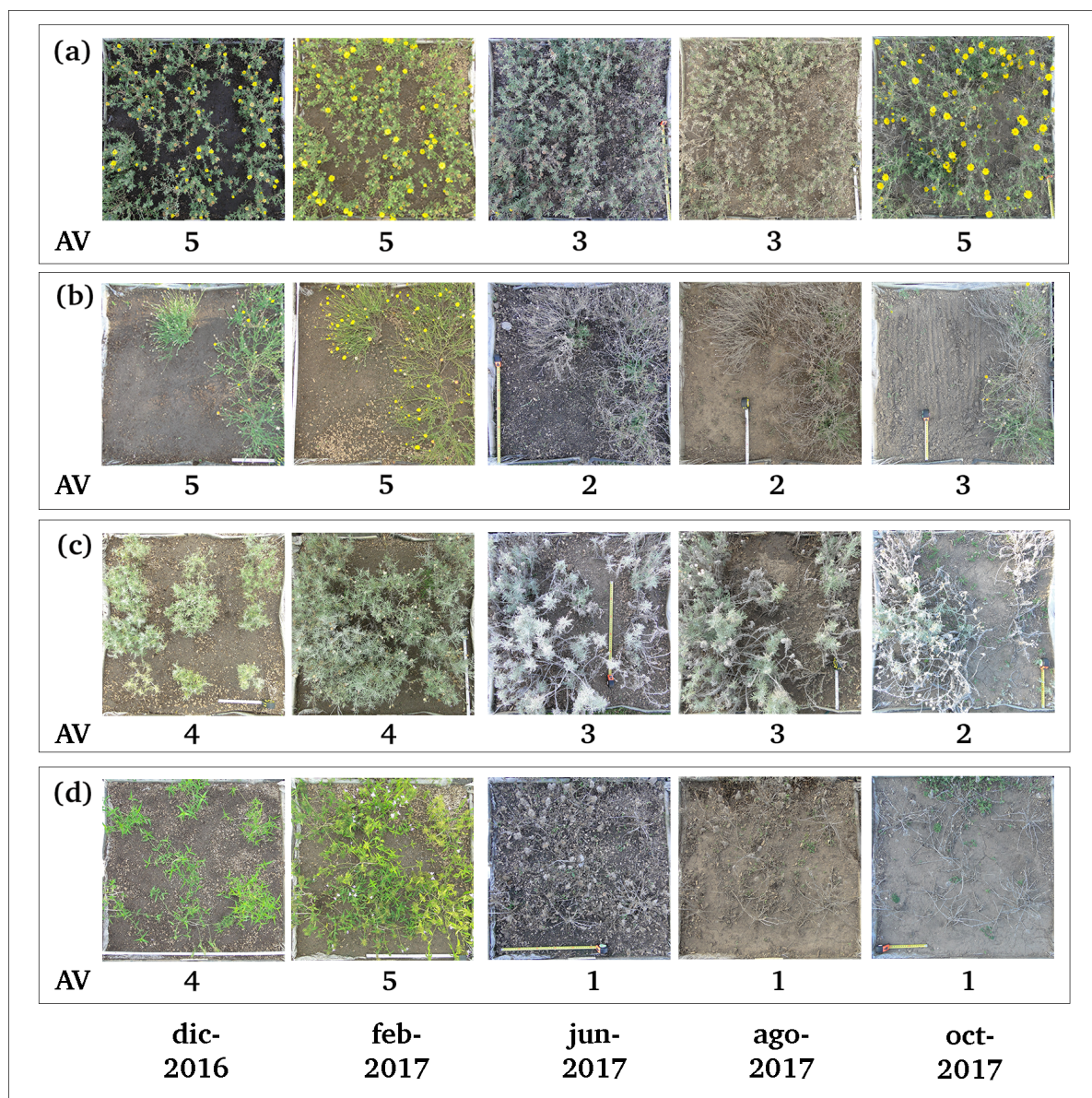
La gramínea *M. macra* si bien presentó óptima AV (entre 4 y 5), durante la mayor parte del período de cultivo, se observó una abundante acumulación de materia seca aérea en la parte basal de los individuos ante condiciones temperaturas mayores a los 30 °C. Además, esta especie fue muy difícil de desmalezar, principalmente por las características de sus hojas ásperas (Figura 2.12 d).



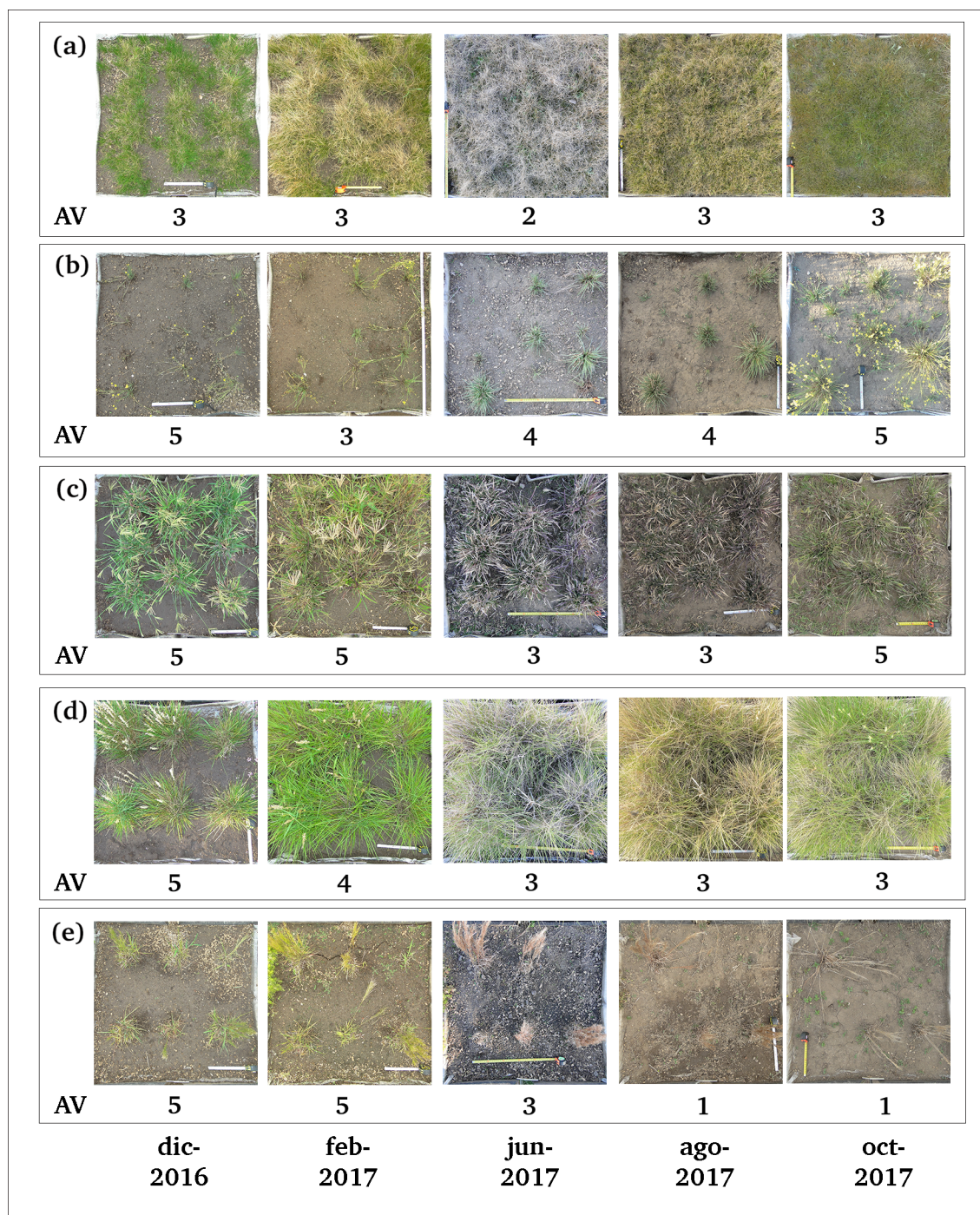
**Figura 2.9** Fotografía de *Sedum mexicanum* con vista desde arriba de un mismo módulo, donde se observan los cambios en la apariencia visual (AV) durante los meses evaluados: diciembre 2016 (dic-2016); febrero 2017 (feb-2017); junio 2017 (jun-2017); agosto 2017 (ago-2017) y octubre 2017 (oct-2017). AV 1: plantas con estrés severo sin probabilidad de recuperación y mortalidad; AV 2: plantas con marcado síntomas de marchitamiento, necrosis en hojas y ramas; AV 3: plantas con leve estrés, pero con capacidad de resiembra y rebrote; AV 4: plantas saludables de activo crecimiento sin evidencia reproductiva; AV 5: plantas saludables de activo crecimiento con evidencia reproductiva.



**Figura 2.10** AV de: (a) *Adesmia grandiflora* (b) *Heliotropium curassavicum* (c) *Nama undulatum* (d) *Phyla nodiflora* (e) *Scoparia montevidensis* (f) *Glandularia x hybr.* de un mismo módulo con vista desde arriba donde se observan los cambios en la apariencia visual. Fechas diciembre 2016 (dic-2016); febrero 2017 (feb-2017); junio 2017 (jun-2017); agosto 2017 (ago-2017) y octubre 2017 (oct-2017). AV 1: plantas con estrés severo sin probabilidad de recuperación y mortalidad; AV 2: plantas con marcado síntomas de marchitamiento, necrosis en hojas y ramas; AV 3: plantas con leve estrés, pero con capacidad de resiembra y rebrote; AV 4: plantas saludables de activo crecimiento sin evidencia reproductiva; AV 5: plantas saludables de activo crecimiento con evidencia reproductiva.



**Figura 2.11** Fotografías de: **(a)** *Grindelia cabrerana* **(b)** *Hysterionica jasionoides* **(c)** *Senecio vira-vira* **(d)** *Justicia squarrosa* de un mismo módulo con vista desde arriba donde se observan los cambios en la apariencia visual (AV). Fechas: diciembre 2016 (dic-2016); febrero 2017 (feb-2017); junio 2017 (jun-2017); agosto 2017 (ago-2017) y octubre 2017 (oct-2017). AV 1: plantas con estrés severo sin probabilidad de recuperación y mortalidad; AV 2: plantas con marcado síntomas de marchitamiento, necrosis en hojas y ramas; AV 3: plantas con leve estrés, pero con capacidad de resiembra y rebrote; AV 4: plantas saludables de activo crecimiento sin evidencia reproductiva; AV 5: plantas saludables de activo crecimiento con evidencia reproductiva.



**Figura 2.12** Fotografías de: **(a)** *Eleocharis* sp.; **(b)** *Sisyrrinchium unguiculatum*; **(c)** *Eustachys retusa*; **(d)** *Melica macra*; **(e)** *Schizachyrium condensatum* de un mismo módulo con vista desde arriba donde se observan los cambios en la AV. Fechas: diciembre 2016 (dic-2016); febrero 2017 (feb-2017); junio 2017 (jun-2017); agosto 2017 (ago-2017) y octubre 2017 (oct-2017). AV 1: plantas con estrés severo sin probabilidad de recuperación y mortalidad; AV 2: plantas con marcados síntomas de marchitamiento, necrosis en hojas y ramas; AV 3: plantas con leve estrés, pero con capacidad de resiembra y rebrote; AV 4: plantas saludables de activo crecimiento sin evidencia reproductiva; AV 5: plantas saludables de activo crecimiento con evidencia reproductiva.

En la Tabla 2.3 se muestra la duración del período de floración y se indica la capacidad de resiembra y/o rebrote de cada especie. Tanto *E. retusa* como *G. cabreræ* se destacaron del resto de las especies por la gran producción de semillas y la cantidad de nuevos individuos germinados que sobrevivieron al finalizar la evaluación. Se observaron evidencias de herbivoría en *S. mexicanum* y en *J. squarrosa*, y presencia de áfidos, como pulgones, en *S. vira-vira*.

**Tabla 2.3** Período de floración para las especies evaluadas (n=16) en condiciones de CVE. El color de cada fila hace referencia al color de las flores y/o inflorescencias de cada especie. Aquellas con capacidad de resiembra se indican con \*, con capacidad de rebrote +, especies con capacidad de resiembra y rebrote \*+; sin observación de rebrote y/o resiembra --.

Especies (n=16)	Meses											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>A. grandiflora</i> *												
<i>H. curassavicum</i> *+												
<i>N. undulatum</i> *+												
<i>P. nodiflora</i> +												
<i>S. montevidensis</i> *												
<i>G. cabreræ</i> *+												
<i>H. jasionoides</i> *												
<i>S. vira-vira</i> *												
<i>J. squarrosa</i> *												
<i>E. retusa</i> *												
<i>M. macra</i> --												
<i>S. condensatum</i> --												
<i>S. unguiculatum</i> *												
<i>Eleocharis</i> sp.+												
<i>G. x hibr.</i> +												
<i>S. mexicanum</i> +												

### 2.5.2.2 Supervivencia.

La especie control, *S. mexicanum* y tres especies nativas, *E. retusa*, *M. macra* y *Eleocharis* sp., lograron una S final del 100 %. Las herbáceas *P. nodiflora* y *G. cabreræ* lograron un 80 % S final. Mientras que, *H. jasionoides* y *S. unguiculatum* lograron 60 y 40 % de S final, respectivamente. Los valores más bajos lo mostraron *H. curassavicum* y *G. x hibr.* y *S. vira-vira* con 25 y 15 % S, respectivamente. Solo cinco de las 16 especies no sobrevivieron después de un año desde el trasplante (*A. grandiflora*, *N. undulatum*, *S. montevidensis*, *J. squarrosa* y *S. condensatum*).

### 2.5.2.3 Desempeño por cobertura vegetal

En la Tabla 2.4 se resumen los valores de porcentaje de CVeg mínima, máxima, días hasta alcanzar el 60 % CVeg y el % CVeg máxima alcanzada por cada grupo (grupo I: CVeg > 60 %, grupo II: entre 59 y 45 %, grupo III < 44 %).

La especie control, *S. mexicanum*, *P. nodiflora*, *G. x hybr.*, *G. cabreræ*, *E. retusa*, *M. macra* y *Eleocharis* sp. se encontraron entre las especies con mejor desempeño de cobertura (grupo I). Se observó que *P. nodiflora* y *G. x hybr.* lograron un % CVeg del 98 y 95 % en un plazo de 31 días, mostrando un crecimiento inicial rápido. Mientras que, las demás especies pertenecientes al grupo tuvieron una capacidad de cobertura más lenta, como por ejemplo el control (*S. mexicanum*) que logró un 68 % CVeg al día 58 (Tabla 2.4). Al día 86 desde el trasplante al sistema modular de CVE, estas tres especies lograron una cobertura total (100 % CVeg final). *Eustachys retusa* y *G. cabreræ* mantuvieron una CVeg constante de 65 % la mayor parte del año, logrando 90 % y 88 % de CVeg máxima hacia el final del período. *Eleocharis* sp. logró el 100 % CVeg al día 142, mientras que *M. macra* el 90 % CVeg al día 275. Se observó que ambas especies se ven altamente afectadas por las condiciones climáticas extremas de verano e invierno, lo cual afectó una cobertura alta constante. Las especies *H. curassavicum*, *S. montevidensis*, *S. vira-vira* y *J. squarrosa* conformaron el grupo II. *Heliotropium curassavicum* presentó una cobertura fluctuante debido al marchitamiento de su follaje, tanto en época estival como en otoño-invierno. La presencia de rizomas permitió el rebrote. *Scoparia montevidensis* mostró potencial en su desempeño alcanzando valores del 100 % CVeg, sin embargo, su cobertura se redujo progresivamente desapareciendo por completo (0 % CVeg) hacia el final del período. Caso similar el de *J. squarrosa* que logró 75 % CVeg en 142 días. Sin embargo, también se vio afectada por las bajas temperatura de invierno. *Senecio vira-vira* tuvo un crecimiento lento con una CVeg del 50 % la mayor parte del período, alcanzando el 60 % CVeg al día 275. Las especies *H. jasionoides*, *S. unguiculatum*, *A. grandiflora*, *N. undulatum* y *S. condensatum* tuvieron el porcentaje de CVeg más bajo (grupo III < 44 %) durante todo el período evaluado. En el Anexo II de la Tesis se presentan las curvas de DCVeg de cada una de las especies para el período evaluado (Figura Suplementaria 2.32).

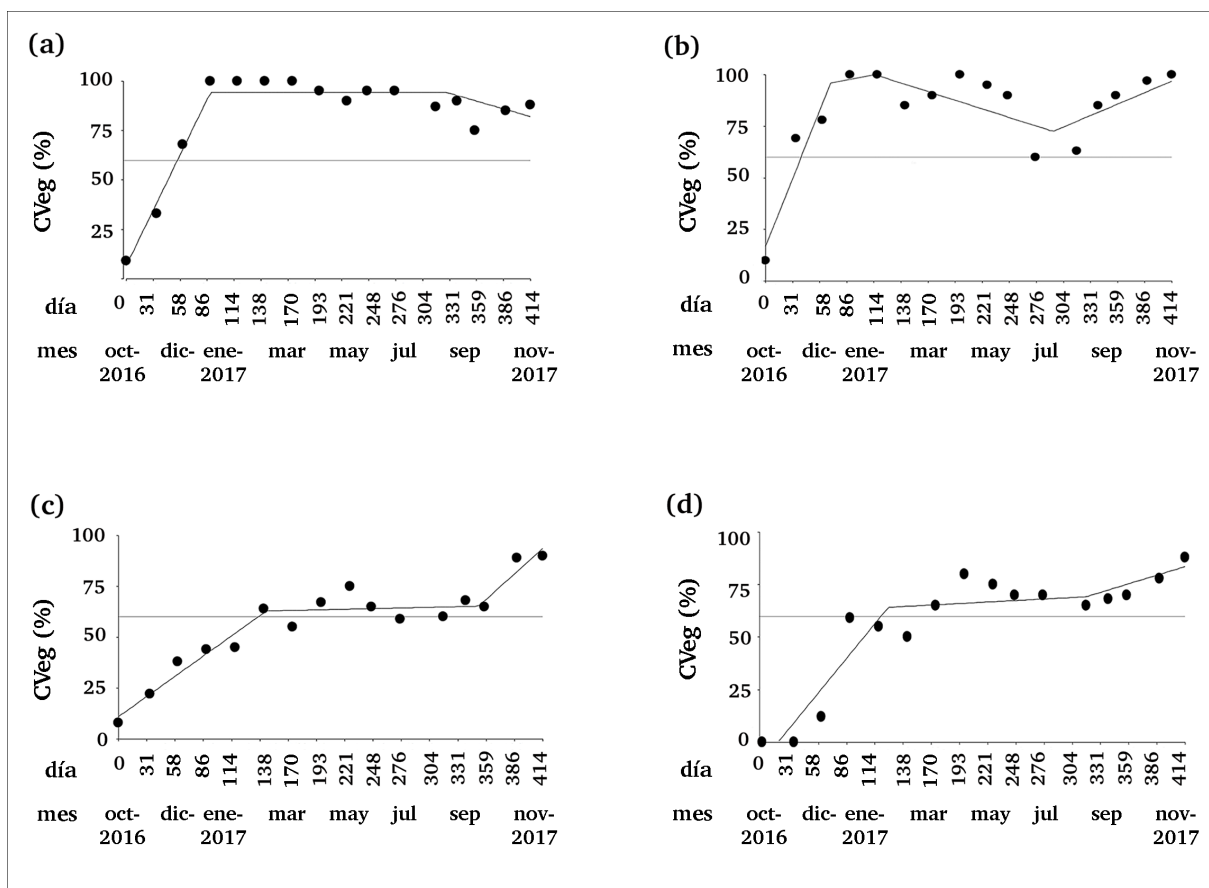
**Tabla 2.4** Cobertura vegetal de las especies evaluadas (n= 16) de acuerdo a la CVeg mínimo (CVeg min, %), a la CVeg máxima (CVeg máx, %), días hasta alcanzar el 60 % y la CVeg máx. Se indica cada una de las especies en los grupos correspondientes (I, II, y III).

Grupo	Especies (n=16)	CVeg mín. (%)	CVeg máx. (%)	Días para lograr CVeg ≥ 60 %	Días para lograr CVeg máx. (%)
<b>Grupo I</b> >60% CVeg	<i>S. mexicanum</i>	9	100	58	86
	<i>P. nodiflora</i>	10	100	31	86
	<i>G. x hibr.</i>	8	100	31	86
	<i>Eleocharis sp.</i>	9	100	86	198
	<i>M. macra</i>	16	100	114	389
	<i>E. retusa</i>	8	90	142	389
	<i>G. cabreræ</i>	12	88	170	414
<b>Grupo II</b> Entre 59 y 45% CVeg	<i>S. montevidensis</i>	5	100	58	114
	<i>J. squarrosa</i>	12	75	114	142
	<i>S. vira-vira</i>	8	60	170	170
	<i>H. curassavicum</i>	10	55	-	114
<b>Grupo III</b> <44% CVeg	<i>H. jasionoides</i>	5	40	-	198
	<i>N. undulatum</i>	5	34	-	114
	<i>S. unguiculatum</i>	8	34	-	387
	<i>A. grandiflora</i>	5	20	-	114
	<i>S. condensatum</i>	5	15	-	31

#### 2.5.2.4 Curvas de modelos de crecimiento para las especies seleccionadas por desempeño

Teniendo en cuenta los criterios de selección (**Sección 2.4.5**) (AV entre 5 y 4, S > 80 % y CVeg > 60 %) las especies seleccionadas en monocultivo con potencial de uso en CVE en primer año de caracterización y evaluación fueron: *S. mexicanum*, *P. nodiflora*, *G. cabreræ* y *E. retusa*. Las especies *G. x hibr.*, *M. macra* y *Eleocharis sp.* si bien mostraron un crecimiento inicial apropiado (CVeg > 60 %) fueron descartadas de la selección. En el caso de *G. x hibr.*, ésta sufrió gran mortandad en el número de individuos ante condiciones de temperaturas bajas, lo cual afectó su desempeño (CVeg final= 25 %); *M. macra* y *Eleocharis sp.*, presentaron ES fluctuantes ante las condiciones ambientales lo cual afectó también su dinámica de cobertura.

En la Figura 2.13 se muestran modelos de crecimiento con las curvas ajustadas para cada una de las especies seleccionadas en donde se observa la línea de corte al valor de 60 % CVeg. Para la especie control (*S. mexicanum*) y para las especies nativas *P. nodiflora*, *G. cabrerar*e y *E. retusa*, el modelo más ajustado correspondió a uno de tres tramos. Este modelo refleja un crecimiento inicial positivo, una meseta de estabilidad y una tercera etapa de crecimiento o de decrecimiento, respectivamente. Los puntos con valores bajos de cobertura fueron momentos de receso en el crecimiento de las especies en los meses fríos. Con el aumento de la temperatura a comienzos de la primavera (septiembre 2017/ día: 304) éstas especies mostraron capacidad de rebrote.



**Figura 2.13** Modelos de crecimiento para las especies seleccionadas por desempeño en condiciones de monocultivo en CVE (a) *S. mexicanum* (b) *P. nodiflora* (c) *E. retusa* (d) *G. cabrerar*e. Las líneas de corte en las figuras indican la CVeg al 60 %.

## 2.6 Discusión

Del total de especies recolectadas (n= 27), 14 tuvieron éxito poscolecta. Además, se sumaron las dos especies aportadas por el equipo del LRGySB, *S. mexicanum* y *G. x* híbr. Estas 16 especies fueron evaluadas en monocultivo bajo condiciones de CVE.

El enfoque de los hábitats modelos propuesto por Lundholm (2006) fue un punto de inicio para la exploración y recolección de especies con potencial de uso en CVE. Los indicadores de desempeño vegetal (AV, S y CVeg) resultaron ser buenos indicadores para una primera caracterización de las especies en monocultivo y seleccionar aquellas destacadas por su desempeño durante un ciclo anual de evaluación. El activo crecimiento y la floración contribuyen positivamente a la aceptación pública de las CVE diseñadas con especies nativas, pero además también refleja una CV funcionalmente activa (Hooper et al., 2008; Sendo et al., 2010; Lundholm et al., 2010; Speak et al., 2013). En paralelo, la diversidad y disponibilidad de recursos florales es clave para incrementar la cantidad de polinizadores (Latty, 2016; Williams et al., 2014; Nagase y Tashiro-Ishii, 2018). Es de esperar que CV que contengan una mayor diversidad de flores provean hábitats para una gran cantidad de visitantes florales con respecto a aquellas simplificadas a una sola especie (Williams et al., 2014). Estas consideraciones motivan a la evaluación y selección de especies diferentes a las suculentas o en combinación con estas (Calviño et al., 2023; Di Miceli et al., 2022). En los resultados presentados, todas las especies florecieron en primavera, manifestando diferencias en la longitud del período de floración. Por ejemplo, *G. cabrerae* fue la especie con mayor duración del período de floración con flores amarillas y llamativas incluso ante la llegada de bajas temperaturas (de noviembre 2016 a junio 2017). Especies como *S. unguiculatum* o *J. squarrosa* que, mostraron una cobertura vegetal estacional de primavera-verano con abundantes flores y podrían tenerse en cuenta para esta época del año, mientras que en el caso de *S. vira-vira* mostró mayor cantidad de flores en la temporada invernal. El híbrido de *Glandularia* y las tres especies de gramíneas, *E. retusa*, *M. macra* y *S. condensatum*, han sido valoradas positivamente desde el punto de vista estético por público general y profesional (i.e., arquitectos paisajísticos, agrónomos, etc.) para ser implementadas como materiales con potencial para su uso en diseños urbanos de bajo mantenimiento (Imhof et al., 2018; Vázquez Novoa, 2020).

Numerosos estudios en condiciones similares a las del centro de Argentina han destacado la importancia del aporte hídrico para aumentar la supervivencia y favorecer el crecimiento vegetal (Farrell et al., 2012; Flores Asin et al., 2019).

Como se mencionó anteriormente, las condiciones climáticas de gran amplitud térmica diaria y de precipitaciones a lo largo del año, ha llevado a un uso extendido de especies del género *Sedum* sp. por su bajo requerimiento hídrico, y porque en algunos casos, su desempeño ha sido mejor que las especies nativas (Monterusso et al., 2005; VanWoert et al., 2005; Rowe et al., 2006). VanWoert et al. (2005) reportaron que algunas especies de *Sedum* pueden vivir hasta 88 días sin aporte de agua. *S. mexicanum* mantuvo su supervivencia durante el año evaluado, característica que se le atribuye a su metabolismo fotosintético CAM (Monterusso et al., 2005), y logró una cobertura en corto tiempo. Estos resultados son coincidentes con otros donde *S. mexicanum* y *S. album*, implantados a partir de siembra, lograron cobertura total en el transcurso de un año (Durham et al., 2004; Emilsson y Rolf, 2005; Monterusso et al., 2005). Esto confirma el potencial de cobertura del género *Sedum* independientemente del método de plantación (i.e., semilla, plugs o mata) en estos sistemas de CVE. Algunos géneros de la familia botánica Aizoaceae, como *Carpobrotus* y *Aptenia* han logrado una buena cobertura vegetal siendo resistente a altas temperaturas y exposición solar en climas secos de Australia (Di Miceli et al., 2022). En cuanto a las especies nativas, *P. nodiflora* y *G. x* hibr. tuvieron un establecimiento más rápido respecto al *S. mexicanum*, alcanzando una cobertura vegetal final mayor al 90 %. El crecimiento lento de *S. mexicanum*, con respecto a otras especies, también ha sido reportado por Benvenuti y Bacci (2010) en *S. ruprestre* y esto se atribuye a su atributo estrés tolerante (Grime, 1974). Experimentos realizados en CVE en Australia, en condiciones similares de semiaridez, las especies evaluadas tuvieron una supervivencia final del 90 % para *Disphyma crassifolium*, *Brachyscome multifida* y *Chrysocephalum apiculatum* (Razzaghmanesh et al., 2014b). En comparación con estos estudios, las tres especies lograron una cobertura menor al 40 %, mientras que las especies seleccionadas (*P. nodiflora*, *G. cabreræ* y *E. retusa*) tuvieron una cobertura > 90 % luego de un año de evaluación. Estos valores superaron los valores mínimos de cobertura vegetal exigidos por guías modelos como las alemanas (FLL, 2008). Bousset et al. (2010) han estudiado el desempeño de seis especies en monocultivo, en donde cuatro de ellas (*Bouteloua gracilis*, *Delosperma cooperi*, *O. fragilis* y *S. lanceolatum*) tuvieron una supervivencia del 100 % pasado el invierno, pero la cobertura final del año de evaluación no fue superior al 50 %. Por otro lado, Sendo et al. (2010) también evaluaron la cobertura de 10 especies nativas y exóticas, en donde *Thymus* sp., *Evolvulus* sp., *Verbena* sp., *Petunia* sp. y *Fragaria* sp. se destacaron por su cobertura final mayor al 50 %. Comparando estos porcentajes con los mejores monocultivos evaluados aquí, se puede afirmar

que estas especies presentan un excelente desempeño para ser recomendadas para su uso en CVE en regiones semiáridas. Un estudio llevado a cabo en Córdoba por Suárez (2020) reportó una cobertura mayor al 80 % para el híbrido de *Glandularia* luego de 200 días de evaluación. Si bien en los resultados obtenidos en el marco de esta Tesis su desempeño tuvo un pico ascendente los primeros 30 días logrando cobertura mayor al 90 % y luego disminuyó considerablemente. Otro ejemplo fue para las especies *H. curassavicum* y *H. jasionoides* que tuvieron un crecimiento ascendente hacia la primavera-verano, entraron en receso en otoño-invierno, rebrotando lentamente en comparación a las mejores especies. Estas características han sido observadas por Monterusso et al. (2005) en *Monarda fistulosa*, *Agastache foeniculum* y *Juncus effusus*, quienes indican que un suplemento de riego es importante luego del período de receso vegetativo para fortalecer el rebrote.

Algunas gramíneas producen gran cantidad de biomasa lo cual puede generar peligro de incendios como una estrategia de regulación de las poblaciones naturales lo cual sería un gran inconveniente para CV en días de altas temperaturas (Snodgrass y Snodgrass, 2006; Arabi et al., 2015). Este podría ser el caso de *M. macra* que si bien logró un excelente desempeño, se observó acumulación de materia aérea seca basal.

En base a los resultados expuestos y apostando al bajo mantenimiento de CV instaladas en condiciones semiáridas se considera importante tener en cuenta plantas de cobertura inicial rápida como *P. nodiflora* o *G. x hibr.*, sumado a la capacidad de resiembra como en las gramíneas del género *Eustachys* (Jewsbury et al., 2016; Kazemi y Mohorko, 2017). En este sentido, la producción de semillas es un atributo importante a tener en cuenta ya que puede contribuir a la perpetuidad de aquellas especies con crecimiento estacional como por ejemplo *H. curassavicum*, *N. undulatum*, *H. jasionoides*, *J. squarrosa*, *S. vira-vira* y *S. unguiculatum* (Getter y Rowe, 2006; Nagase y Dunnett, 2013; Van Mechelen et al., 2014a). Por ejemplo, en el estudio llevado a cabo por Monterusso et al. (2005) de 27 plantas iniciales de *Coreopsis lanceolata* L., sólo un individuo sobrevivió, sin embargo, luego de tres años su abundancia aumentó a 30 nuevos individuos producto del proceso de resiembra. En un estudio reciente se observó que dos especies nativas anuales del centro de Argentina (*G. pulchella* y *Portulaca grandiflora*) tuvieron la capacidad de resiembra después del invierno bajo condiciones de riego ausente (Calviño et al., 2023). Si bien en este estudio todas las especies caracterizadas fueron de ciclo de vida perenne también se promueve el uso de especies anuales por su gran producción de semillas lo cual puede colaborar a la resiliencia y sostenibilidad del sistema (Saraeian et al.,

2022). La propagación agámica por fragmentos como el de la herbácea rastrera *P. nodiflora* es otro atributo importante de considerar en climas áridos y semiáridos ya que parte de la planta puede morir y otra parte fácilmente enraizar, rebrotar y continuar en el sistema. En base a estas consideraciones, se presenta importante llevar a cabo evaluaciones a largo plazo para no descartar especies que ante otras condiciones o en combinaciones poli específicas pueden mejorar su desempeño.

## **2.7 Conclusión**

Dieciséis especies del total recolectado (n= 27) tuvieron éxito post colecta, es decir capacidad de cultivo y supervivencia para su evaluación en condiciones experimentales de CVE. Los indicadores de desempeño vegetal permitieron seleccionar cuatro materiales vegetales con potencial de uso en estos sistemas. *P. nodiflora*, *G. cabreræ*, *E. retusa* y *S. mexicanum* lograron activo crecimiento con floración abundante, una supervivencia y cobertura vegetal mayores al 80 % y al 60 % respectivamente. En el caso que se empleen especies con crecimiento más lento, de crecimiento estacional y supervivencia baja como *N. undulatum* o *S. condensatum* se recomienda a futuro evaluarlas en combinaciones poli específicas. Frente a los resultados expuestos y debido a que numerosos estudios han demostrado una mejora en el desempeño y funcionamiento de las CVE más diversificadas, resulta de suma importancia evaluar el desempeño de las especies seleccionadas en microcosmos de ensambles complejos por un período más prolongado y evaluar su dinámica a través de las variables de desempeño vegetal tanto a nivel microcosmos como a nivel especie-específico.

---

## CAPÍTULO 3

### EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO VEGETAL DE MICROCOSMOS POLI ESPECÍFICOS PARA CUBIERTAS VEGETADAS EXTENSIVAS DE REGIONES SEMIÁRIDAS

#### 3.1 Introducción

En micro-ecosistemas artificiales como las CV la capa vegetal ha sido definida metafóricamente como la “*piel del sistema*”, ya que se relaciona con procesos en el largo plazo que modifican la dinámica de esas comunidades de organismos en el tiempo (Köhler, 2006; Dunnett et al., 2008; Carlisle y Piana, 2015; Lönnqvist et al., 2021). Es de esperar que, como todo sistema vivo, las plantas crezcan, se desarrollen, mueran y se regeneren temporal y espacialmente (Pickett et al., 2013; Brown y Lundholm, 2015; Carlisle y Piana, 2015). A medida que una comunidad vegetal evoluciona, se producen cambios en la composición y estructura del ensamble, predominando aquellas especies que presenten ventajas adaptativas frente a condiciones bioambientales fluctuantes (Köhler, 2006; Dunnett et al., 2008; Catalano et al., 2016; Thuring y Dunnett, 2019). Las condiciones adversas que caracterizan a las CV restringen la diversidad de plantas que pueden sobrevivir en ellas (Oberndorfer et al., 2007). Por lo general, el ensamble de la comunidad vegetal en una CV se diseña a partir de especies que no suelen co-existir en su ambiente natural (Buffan y Mitchell, 2015), generando condiciones novedosas para las interacciones entre ellas (Vasl y Heim, 2016). Las especies inicialmente trasplantadas a una CV son competitivas (i.e., de desarrollo vigoroso, rápido crecimiento, capacidad de propagarse vegetativamente, etc.) y estrés tolerantes (i.e., crecimiento lento, perennes, resistentes al estrés hídrico, etc.) como aquellas del género *Sedum* (Thuring y Dunnett, 2019). Sin embargo, a medida que la cubierta evoluciona, comienzan a establecerse otras especies ruderales (i.e., rápido crecimiento, capacidad de propagarse por semilla o vegetativamente), mientras que aquellas competitivas o estrés tolerantes mueren y/o

son reemplazadas y/o desplazadas por las nuevas colonizadoras (Grime, 1977; Köhler, 2006; Catalano et al., 2016; Thuring y Dunnett, 2019). Por lo tanto, mantener la diversidad vegetal del diseño original de la CV puede ser complejo debido, por ejemplo, a la competencia inter/intraespecífica, por el espacio o los recursos disponibles (Cook-Patton y Bauerle, 2012). Blaustein et al. (2016) retoman la revisión de Vasl y Heim (2016) donde exponen que para potenciar y sostener la diversidad de plantas en estos ecosistemas construidos hay que tener en cuenta principios de base ecológica. Uno de ellos parte de aplicar la Teoría de Nicho, en donde la coexistencia de las especies puede aumentar a medida que la ocupación de nichos es más disímil (Vasl y Heim, 2016). Por ejemplo, a través de la incorporación de especies con diferentes patrones de adquisición de recursos y variedad en los hábitos de crecimiento (Lundholm et al., 2010). Estas diferencias entre las plantas seleccionadas para iniciar una comunidad en CV, permitirían que se establezcan interacciones positivas como la facilitación, aumentando la probabilidad de supervivencia y crecimiento entre las especies (Soliveres et al., 2011; Heim y Lundholm, 2014b).

La facilitación interespecífica también puede lograrse, por ejemplo, cuando se generan efectos positivos de sombreado al incorporarse especies de plantas con diferentes alturas, o alterando la profundidad del sustrato en el sistema (Butler y Orians, 2011; Heim y Lundholm, 2014a). En sistemas de CV con combinaciones heterogéneas de plantas, las especies de *Sedum* pueden funcionar como nodrizas, reduciendo el estrés abiótico que puedan sufrir las demás especies (Vasl et al., 2017). Un ejemplo muy común en la literatura es el de Butler y Orians (2011), quienes observaron que *Agastache rupestri* crecía mejor cuando se co-plantaba con *S. album*. Estos autores atribuyen el efecto nodriza a que la cobertura en forma de mata rastrera de *S. album* podría colaborar en la reducción de la temperatura del sustrato, y con ello en la pérdida de humedad del mismo, todo lo cual mejoraría el desempeño de *A. rupestri*.

Como se mencionó en el Capítulo anterior, tanto la supervivencia y capacidad de cobertura que tienen las distintas especies influyen en la sostenibilidad del sistema de CV (MacIvor et al., 2013; Lundholm et al., 2014). Sumado a que, diseños diversificados con varias especies que presenten diferentes formas de crecimiento podrían incrementar los múltiples servicios ecosistémicos prestados (i.e., efecto de enfriamiento, captura de agua de lluvia, etc.) (Lundholm et al., 2010; Nagase y Dunnett, 2012).

### 3.2 Hipótesis de trabajo

En base a lo expuesto, se propone como hipótesis de trabajo que el aumento en la diversidad de especies y formas de crecimiento mejora el desempeño vegetal en CVE en condiciones climáticas semiáridas. Se espera que aquellos microcosmos más diversos (conformados por 3 y 4 especies) alcancen mayores valores de cobertura y supervivencia de las especies en el mediano plazo (24 meses) con respecto a microcosmos menos diversos (i.e., 1 o 2 especies). Además, se espera que los microcosmos que muestran mejor desempeño (medido con la cobertura y supervivencia) incluyan siempre alguna especie que actúa como facilitadora (efecto nodriza) de otras especies.

### 3.3 Objetivos

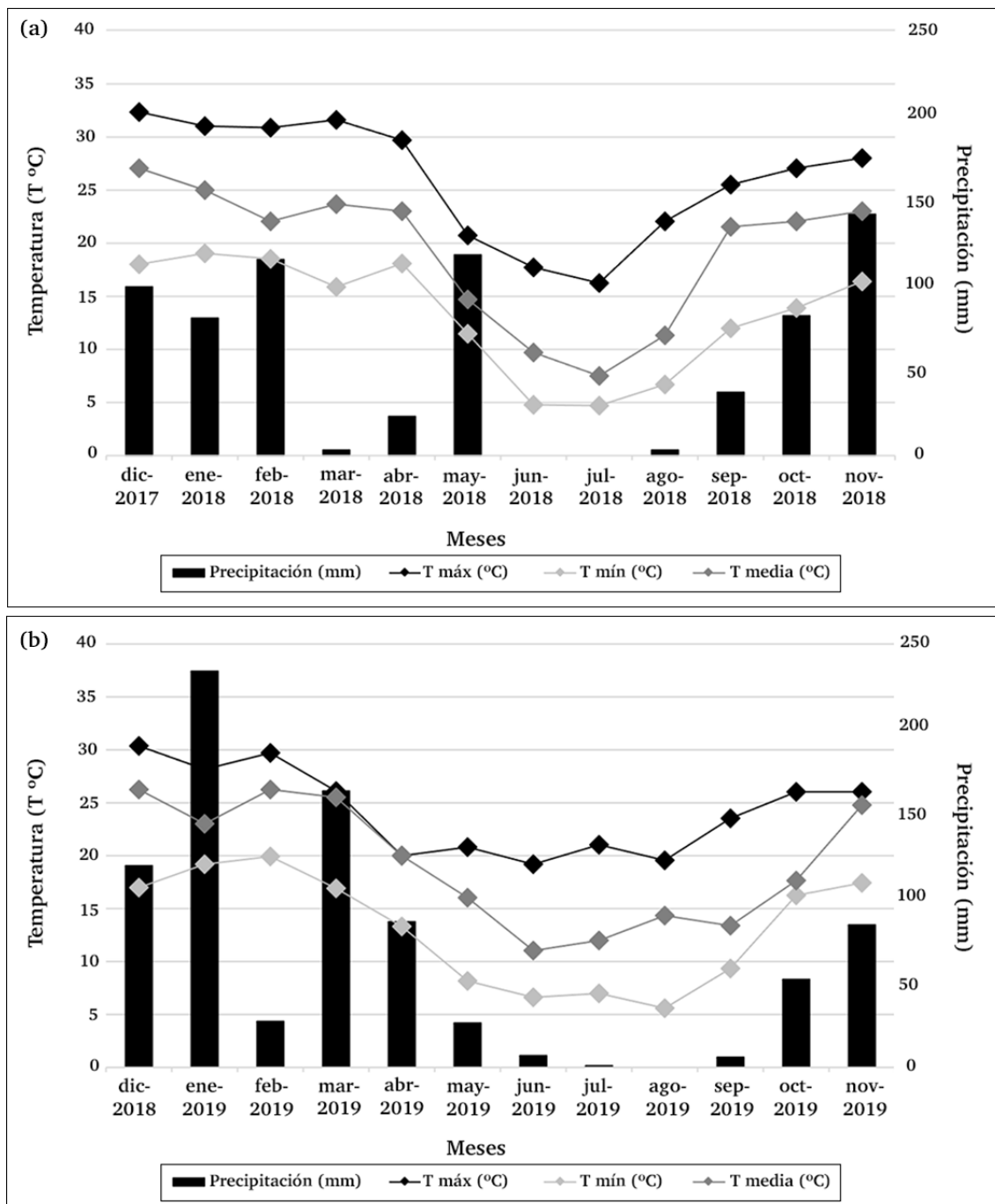
1. Evaluar el desempeño de diferentes microcosmos poli-específicos durante dos ciclos anuales combinando cuatro especies previamente seleccionadas en el Capítulo 2 por su mayor potencial de uso en CVE.
2. Evaluar comparativamente el desempeño individual de las especies dentro de cada microcosmos poli- específico.

### 3.4 Materiales y Métodos

La evaluación del desempeño vegetal en microcosmos poli-específicos tuvo una duración de dos ciclos anuales: Ciclo 1: desde diciembre 2017 a noviembre 2018, y Ciclo 2: desde diciembre 2018 hasta noviembre 2019.

Con datos provistos por el SMN de  $T_{\text{máx}}$ ,  $T_{\text{mín}}$ ,  $T$  media y precipitación mensual de la Estación Observatorio Hidrometeorológico de la provincia de Córdoba ([www.smn.gob.ar](http://www.smn.gob.ar)), se construyeron dos climogramas correspondientes a ambos ciclos. El Ciclo 1 (Figura 3.1 a) se caracterizó por presentar una  $T_{\text{máx}}$  de 31,4 °C y  $T_{\text{mín}}$  de 18,5 °C desde diciembre a febrero 2018, mientras que la  $T_{\text{máx}}$  invernal (de junio 2018 a agosto 2018) fue de 18,6 °C y la  $T_{\text{mín}}$  de 5,4 °C. El total de precipitaciones fue de 561 mm/año, con mayor concentración en noviembre 2018 (142 mm). Durante el Ciclo 2 (Figura 3.1 b), se registró una  $T_{\text{máx}}$  estival de 29,4 °C, con una  $T_{\text{mín}}$  de 18,7 °C, mientras que en la época invernal la  $T_{\text{máx}}$  fue de 19,9 °C y la  $T_{\text{mín}}$  de 6,4 °C. El total de precipitaciones fue de 805 mm/año, concentrándose la mayor parte en el mes de enero (234 mm). Si comparamos con valores históricos en donde las

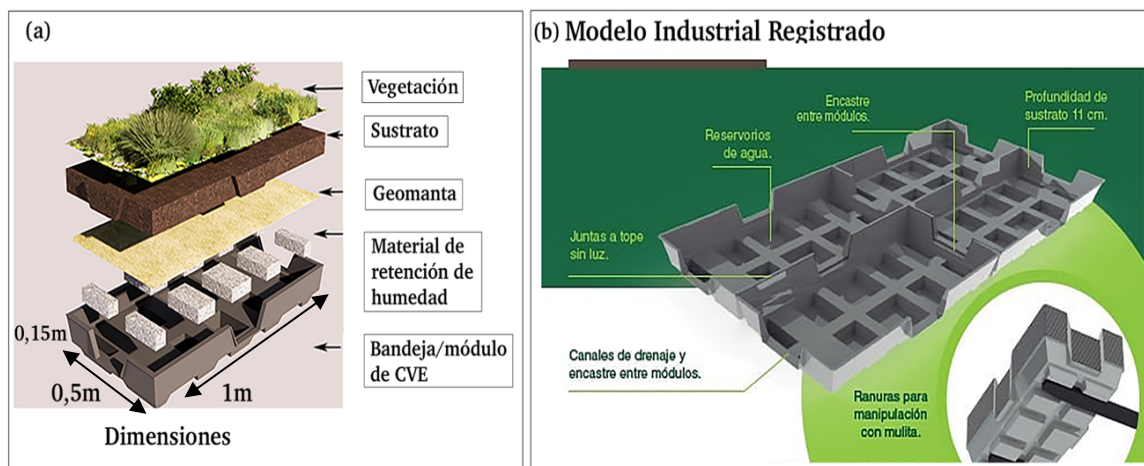
precipitaciones se registran en el rango de los 700 a 900 mm anuales (Merlo, 2020), el Ciclo 1 se caracterizó por ser más seco, y el Ciclo 2 se mantuvo dentro de la media anual histórica.



**Figura 3.1** Climogramas de temperaturas mensuales: máximas: T máx (°C); mínimas: T mín (°C); media: T media (°C) y Precipitación total mensual (mm; barras negras) (a) Ciclo 1 (diciembre 2017 a noviembre 2018) (b) Ciclo 2 (diciembre 2018 a noviembre 2019). **Fuente:** Estación Observatorio Hidrometeorológico de la provincia de Córdoba, Servicio Meteorológico Nacional ([www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar)).

### 3.4.1 Construcción de ensayo de CVE. Nuevo sistema modular de cubierta vegetada extensiva

Para llevar a cabo la evaluación se construyó un ensayo de CVE de 24 m<sup>2</sup> en el Campus de la UCC (Anexo I, p. 147). Para su construcción, se utilizó una versión mejorada del sistema modular de CVE. A diferencia del sistema modular utilizado para la caracterización en monocultivo, este nuevo sistema es de polietileno expandido de alta densidad, el cual brinda mayor protección ultravioleta y durabilidad. En la Figura 3.2 (a-b) se detallan las especificaciones técnicas del mismo.

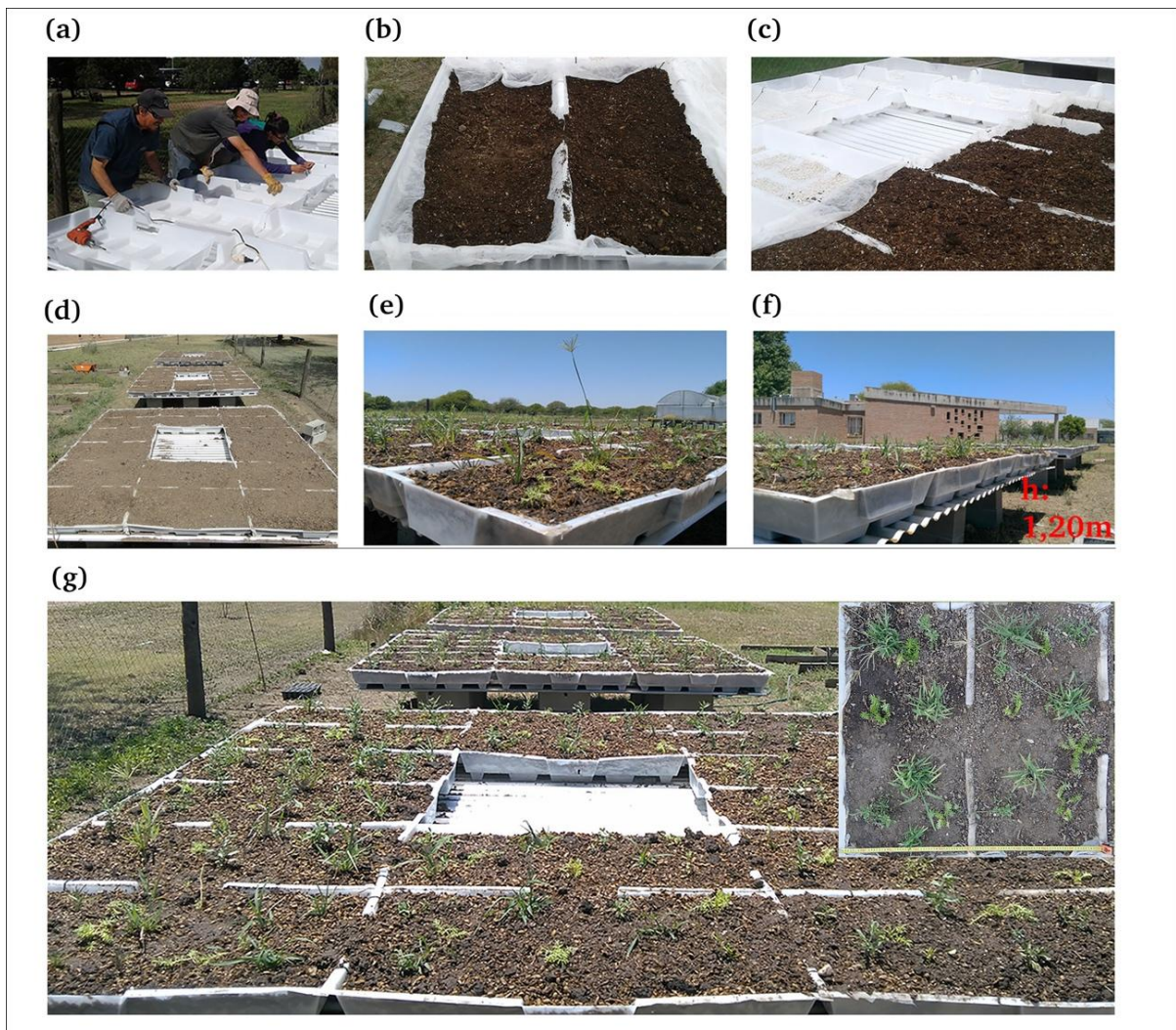


**Figura 3.2 (a)** Esquema de módulo de CVE (LRGySB, IRNASUS-UCC-CONICET). Detalle de capas superior a inferior: vegetación; sustrato; geomanta; material de retención de humedad y módulo propiamente dicho **(b)** Detalle de encastre de módulos, profundidad de sustrato: 0,12 m; reservorio de agua: 0,03 m; drenaje: 94 orificios de 0,01 m.

En la Figura 3.3 se muestran las etapas de construcción (Fig. 3.3 a–d) del ensayo: ensamble de módulos de CVE, colocación de manta geotextil, agregado de mezcla de sustrato, e implantación de las especies y una vista general (Fig. 3.3 e-g) de las tres islas donde se distribuyeron los microcosmos. Los módulos de CVE se dispusieron sobre una estructura de chapa a una altura de 1,20 m desde la superficie del suelo (Fig. 3.3 f) con el propósito de facilitar la toma de datos (i.e., medición de cobertura vegetal y conteo de individuos). Se presenta una vista general de las tres islas de CV con la disposición de los microcosmos con las especies trasplantadas, en donde se dejó un espacio central vacío en cada isla (Fig. 3.3 g). En esa misma figura se incluye una fotografía (arriba a la derecha; Fig. 3.3 g) mostrando un microcosmos visto desde arriba, tomada con la cámara fotográfica utilizada para el registro periódico de

datos. Los microcosmos se distribuyeron de este modo para proporcionar condiciones homogéneas de crecimiento (i.e., que todos ellos tuvieran el mismo efecto borde).

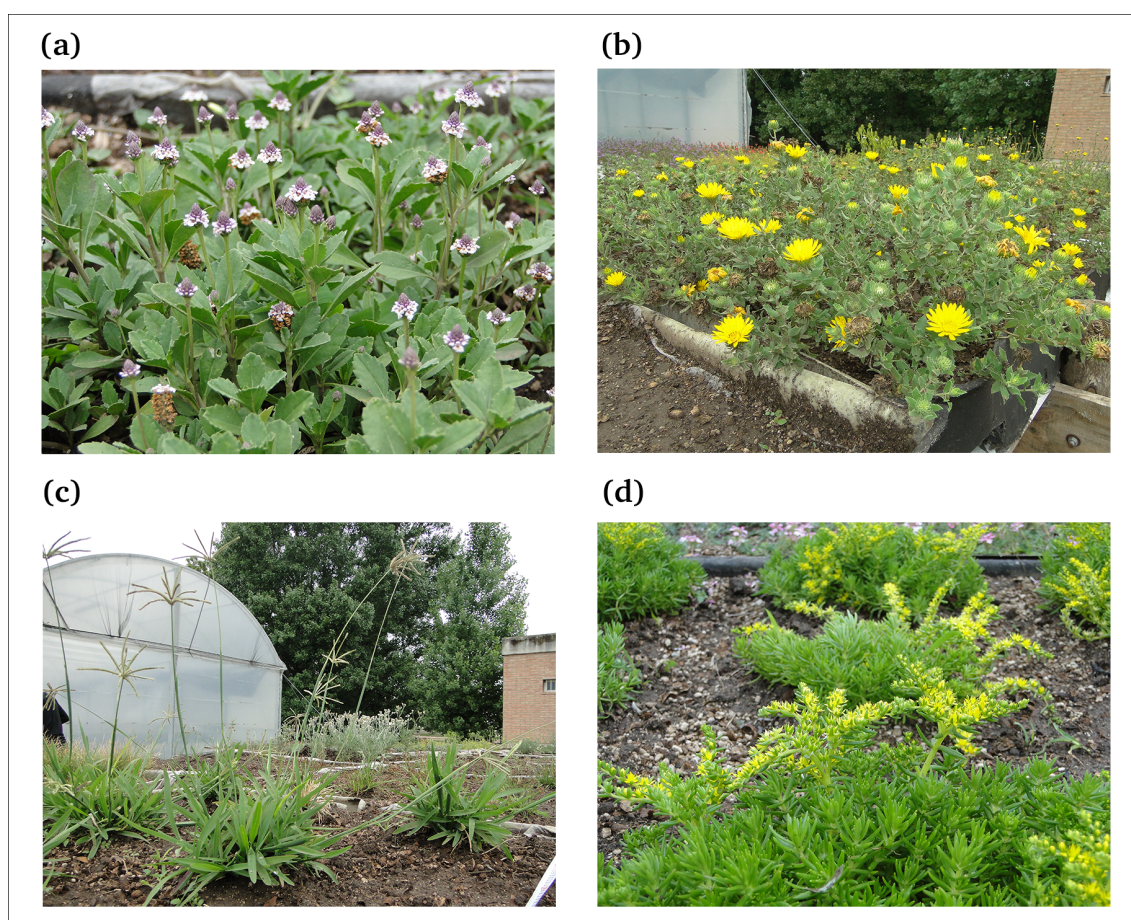
El sustrato empleado consistió en una mezcla de igual composición y proporción de componentes que los empleados para el desarrollo del objetivo 1 (Ver Capítulo 2, p. 29).



**Figura 3.3** Etapas del proceso de construcción del ensayo para la evaluación del desempeño de microcosmos en CVE en el campus de la UCC **(a)** Disposición y encastrado de módulos de CVE **(b)** colocación de geomanta y sustrato **(c)** ensamble de módulos con geomanta y sustrato **(d)** vista general del ensayo previo al trasplante **(e)** implantación de la vegetación sobre estructura de chapa a 1,20 m de altura sobre el nivel del suelo (señalado en letras rojas); a la derecha vista desde arriba de un microcosmo **(g)** Vista general de las tres islas de CV donde se observa la disposición de los microcosmos, con el detalle de una fotografía (arriba a la derecha) de un microcosmos visto desde arriba que fue tomada con la cámara fotográfica utilizada para el registro periódico de datos.

### 3.4.2 Caracterización del desempeño vegetal en microcosmos poli-específicos

Para la configuración de las diferentes combinaciones o microcosmos se utilizaron las especies seleccionadas por su mejor desempeño en monocultivo (resultados del Capítulo 2): *S. mexicanum*, *P. nodiflora*, *G. cabreræ*, *E. retusa* (Figura 3.4 a-d). Las dos primeras se propagaron por esquejes de tallos, a los cuales se les colocó hormona de enraizamiento sintética (IBA, 2.500 ppm) en el nudo basal luego de dejarlo libre de hojas. Los individuos *S. mexicanum* también se lograron a partir de esquejes obtenidos de plantas madres y se colocaron en bandejas multiceldas. Para esta especie no fue necesario el uso de hormonas dado su rápido enraizamiento natural. *Eustachys retusa* se propagó por división de macollos, y sus individuos se colocaron en maceta de 0,75 cm<sup>3</sup>. Los individuos de las cuatro especies se colocaron en dos tipos de contenedores (bandejas y macetas) para garantizar la supervivencia y cantidad necesaria al momento del trasplante al sistema de CV. Todas se cultivaron en invernáculo por 30-45 días, con un riego de 30 minutos/día.



**Figura 3.4** Especies seleccionadas en condiciones de monocultivo en CVE para su evaluación en microcosmos poli-específicos: (a) *P. nodiflora* (b) *G. cabreræ* (c) *E. retusa* (d) *S. mexicanum*.


### 3.4.3 Diseño experimental

Se llevó a cabo un diseño experimental completamente aleatorizado con 11 microcosmos diferentes y con 3 repeticiones para cada uno. Los mismos se configuraron de acuerdo a la combinación de dos, tres y cuatro especies. En función de la disponibilidad de espacio al momento de iniciar el ensayo, para aquellos microcosmos combinados con 2 especies, la superficie empleada para cada repetición fue de 0,5 m<sup>2</sup>, mientras que para aquellos combinados con 3 y 4 especies la superficie fue de 1 m<sup>2</sup>. El trasplante al sistema modular de CVE se realizó el 17 de noviembre de 2017. Todos los valores de las variables de respuesta para el análisis comparativo del desempeño entre microcosmos fueron luego estandarizadas. Para controlar las diferencias en el tamaño de los individuos de las especies, la distribución de los mismos en todos los microcosmos se realizó aleatoriamente. Esto permitió comenzar las mediciones con un valor inicial de cobertura por microcosmos que varió entre el 10 y 15 %.



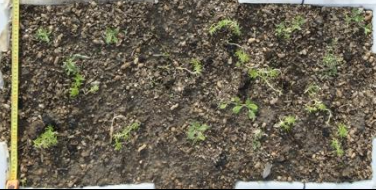



Durante los primeros 15 días (período de establecimiento) se realizó un riego de implantación de 10 litros.m<sup>-2</sup> por semana. Transcurrido este período, y una vez que comenzaron las mediciones de desempeño vegetal (diciembre, 2017), la frecuencia de irrigación se realizó cada 15 días, en un mismo día (10 litros.m<sup>-2</sup>). Se realizaron desmalezados periódicos todas las semanas para evitar la colonización por especies espontáneas.

En la Tabla 3.1 se detalla la configuración de cada microcosmos, su código de identificación y una fotografía con vista desde arriba.

**Tabla 3.1** Configuración de los microcosmos de acuerdo a la combinación de 2, 3 y 4 especies (n=11; r= 3). Se detallan las especies constituyentes de cada microcosmos (*P. nodiflora*; *G. cabreriae*; *E. retusa* y *S. mexicanum*) (columna izquierda), el código asignado a cada microcosmos (columna central) y una fotografía con vista desde arriba en plano horizontal (columna derecha).

<b>Microcosmos</b> Especies constituyentes (código de cada especie)	<b>Código</b> asignado a cada microcosmos	<b>Fotografía plano horizontal</b> (fecha: 01-12-2017)
<i>P. nodiflora</i> ( <b>Phy</b> ) + <i>E. retusa</i> ( <b>Eus</b> )	<b>Phy/Eus</b>	

---

<i>P. nodiflora</i> ( <b>Phy</b> ) + <i>G. cabreræ</i> ( <b>Gri</b> )	<b>Phy/Gri</b>	
<i>G. cabreræ</i> ( <b>Gri</b> ) + <i>E. retusa</i> ( <b>Eus</b> )	<b>Gri/Eus</b>	
<i>P. nodiflora</i> ( <b>Phy</b> ) + <i>S. mexicanum</i> ( <b>Smex</b> )	<b>Phy/Smex</b>	
<i>E. retusa</i> ( <b>Eus</b> ) + <i>S. mexicanum</i> ( <b>Smex</b> )	<b>Eus/Smex</b>	
<i>G. cabreræ</i> ( <b>Gri</b> ) + <i>S. mexicanum</i> ( <b>Smex</b> )	<b>Gri/Smex</b>	
<i>P. nodiflora</i> ( <b>Phy</b> ) + <i>G. cabreræ</i> ( <b>Gri</b> ) + <i>E. retusa</i> ( <b>Eus</b> )	<b>Phy/Gri/Eus</b>	

---

*P. nodiflora* (Phy)  
+ *E. retusa* (Eus)  
+ *S. mexicanum* (Smex)

Phy/Eus/Smex



*P. nodiflora* (Phy)  
+ *G. cabreræ* (Gri)  
+ *S. mexicanum* (Smex)

Phy/Gri/Smex



*G. cabreræ* (Gri)  
+ *E. retusa* (Eus)  
+ *S. mexicanum* (Smex)

Gri/Eus/Smex



*P. nodiflora* (Phy)  
+ *G. cabreræ* (Gri)  
+ *E. retusa* (Eus)  
+ *S. mexicanum* (Smex)

Phy/Gri/Eus/Smex



### 3.4.4 Indicadores de desempeño vegetal

Para diferenciar las variables de respuesta de desempeño vegetal por microcosmos e individual por especie, para el último mes (noviembre 2018; noviembre 2019) de cada ciclo se agregó el subíndice: “Final 1” y “Final 2”, respectivamente, es decir  $CVeg_{Final\ 1}$ ;  $CVeg_{Final\ 2}$  para cobertura vegetal, y  $S_{Final\ 1}$ ;  $S_{Final\ 2}$  para supervivencia por microcosmos. A las variables de desempeño individual por especie se les agregó el subíndice “Ind.Final 1; Ind.Final 2”, es decir  $CVeg_{Ind.Final\ 1}$ ;  $CVeg_{Ind.Final\ 2}$ ;  $S_{Ind.Final\ 1}$ ;  $S_{Ind.Final\ 2}$  para cada variable respuesta.

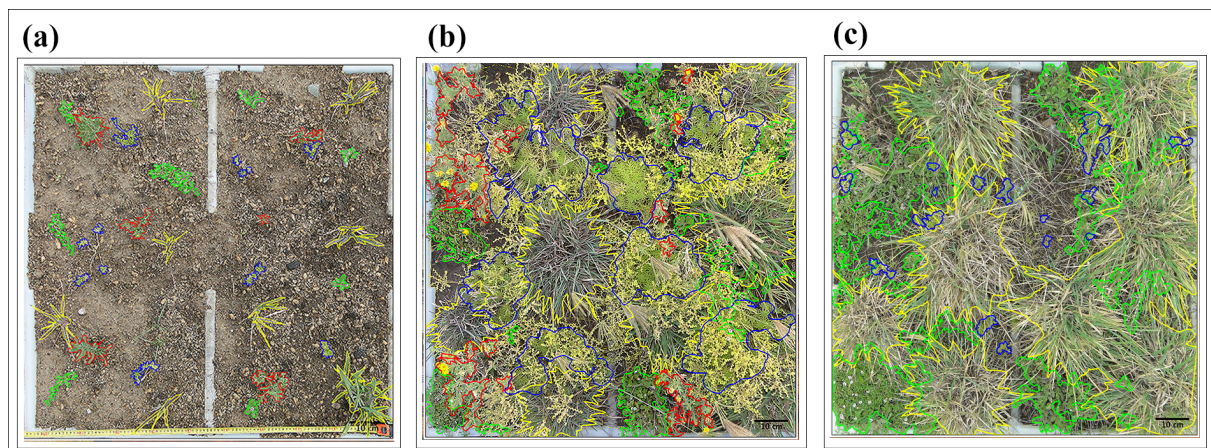
#### 3.4.4.1 Desempeño de cobertura vegetal por microcosmos e individual por especie

La cobertura vegetal por microcosmos ( $CVeg_{Mic.}$ ) se midió mensualmente durante los dos ciclos. Para cuantificar la cobertura alcanzada se utilizó el programa ImageJ. Para ello se consideró al área cubierta por cada combinación de plantas con respecto a la superficie total del módulo. Para obtener los valores en porcentajes se siguió el mismo procedimiento que para la medición de  $CVeg$  en monocultivo (Capítulo 2, Sección 2.4.4.3, p. 33). Para determinar la  $CVeg$  de cada especie dentro del microcosmos ( $CVeg_{Ind.}$ ) se utilizó el programa ImageJ siguiendo el mismo procedimiento que para la obtención del  $CVeg_{Mic.}$ . La  $CVeg_{Ind.}$  fue relativa con respecto a la superficie del módulo. Con la herramienta manual “Hand Tool” se delineó con colores diferentes el porcentaje de área cubierta por cada especie.

Debido a que la obtención de la  $CVeg_{Ind.}$  en combinaciones heterogéneas de plantas puede estar sujeta a un margen de error, dada la superposición de coberturas entre las especies, para su determinación se adaptó la escala de Domin-Krajina (Tabla 3.2). Esta escala, propuesta por Bates et al. (2013), asigna un puntaje de 1 a 9 permitiendo estimar visualmente el espacio ocupado por cada especie. A cada puntaje le corresponde un rango del %  $CVeg$ , el cual luego se convierte en un valor promedio. Por ejemplo, el valor 3 de la escala se asigna a un rango de 5 y 10 %  $CVeg$ . El valor medio de este rango es igual a 7,5 %, valor que se emplea para determinar cuánto cubre una especie en una mezcla. En la Figura 3.5 se detalla un ejemplo del procedimiento de medición con el programa ImageJ del %  $CVeg_{Ind.}$  en el microcosmos combinado con las cuatro especies, Phy/Gri/Eus/Smex. Las mediciones de la  $CVeg_{Ind.}$  se realizaron en el último mes correspondiente a cada ciclo, es decir, en noviembre 2018 y noviembre 2019.

**Tabla 3.2** Cobertura vegetal individual (CVeg<sub>Ind.</sub>) por especie por microcosmos según la escala Domin-Krajina (Bates et al., 2013).

Valor Escala Domin-Krajina	Rango del % CVeg <sub>Ind.</sub> según escala Domin- Krajina	% CVeg <sub>Ind.</sub> media según escala Domin-Krajina
1	0	0
2	<5	2,5
3	5 y 10	7,5
4	10 y 25	17,5
5	25 y 33	29
6	33 y 50	41,5
7	50 y 75	62,5
8	75 y 95	85
9	>95	100



**Figura 3.5** Ejemplo de medición de la CVeg<sub>Ind.</sub> según la escala Domin-Krajina para el microcosmos Phy/Gri/Eus/Smex (a) momento inicial de medición: diciembre 2017 (b) final Ciclo 1: noviembre 2018 (c) final Ciclo 2: noviembre 2019. Las líneas de colores indican el superficie cubierta por cada especie: color azul: *S. mexicanum*; color verde: *P. nodiflora*; color rojo: *G. cabreriae*; color amarillo: *E. retusa*.

#### 3.4.4.2 Desempeño de supervivencia por microcosmos e individual por especie

La supervivencia por microcosmos ( $S_{Mic.}$ ) se realizó a partir del conteo de la cantidad de individuos vivos de todas las especies al momento de la medición con respecto a la cantidad inicial implantada y se expresó en porcentaje (número total de individuos de todas las especies integrantes del microcosmos = 100 %). Las mediciones se realizaron en cuatro fechas para el Ciclo 1: diciembre, año 2017, en febrero, julio y noviembre del año 2018, y en tres fechas para el Ciclo 2: febrero, julio y noviembre del año 2019. Es importante, mencionar que la medición en diciembre 2017 se realizó luego de transcurridos los primeros 15 días desde el trasplante al sistema modular. Considerando las primeras dos semanas como el período de establecimiento

de las especies. Por lo que, si algún individuo no sobrevivía al trasplante, el mismo ya se consideraba en la medición de diciembre, manifestándose en el porcentaje inicial. La supervivencia individual ( $S_{Ind.}$ ) por especie se midió considerando el total de individuos vivos de la especie con respecto a su cantidad inicial. Esta variable respuesta se midió al final de cada ciclo.

### 3.4.5 Análisis de datos

Se realizaron gráficos radiales para comparar los microcosmos mostrando la dinámica entre la  $CVeg_{Mic.}$  y la  $S_{Mic.}$  para siete meses considerados representativos del periodo evaluado (i.e., meses en la temporada de invierno y verano a lo largo de los dos años): diciembre 2017 (inicio de mediciones), febrero 2018 (primer verano); julio 2018 (primer invierno); noviembre 2018 (primera primavera tardía); febrero 2019 (segundo verano); julio 2019 (segundo invierno); noviembre 2019 (segunda primavera tardía). Con los valores mensuales se graficó la dinámica de cobertura vegetal ( $DCVeg$ , %) por microcosmos a través de diagramas de perfiles multivariados con los porcentajes de cobertura media mensual y su error estándar (Suárez et al., 2019; Chell et al., 2022). Para evaluar la existencia de diferencias significativas en las variables de desempeño a nivel de microcosmos ( $CVeg_{Mic.}$ ,  $S_{Mic.}$ ) e individual por especie ( $CVeg_{Ind.}$ ,  $S_{Ind.}$ ), se llevaron a cabo análisis de la varianza (ANOVA) en el mes final de cada ciclo (Infostat, 2020).

Dado que los datos de  $CVeg_{Mic.}$ ,  $CVeg_{Ind.}$  (para todas las especies), y  $S_{Ind.}$  para *S. mexicanum* ( $S_{Ind. Final 2}$ ) no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, los mismos fueron transformados a rangos. Para la comparación de medias se implementó el test de Tukey ( $p < 0,05$ ) en el programa InfoStat. Para las variables respuesta  $CVeg_{Ind. Final 1}$  y  $2$ ;  $S_{Ind. Final 1}$  y  $2$ , respectivamente, se realizaron gráficos de caja utilizando como herramienta el software R versión 4.1.0 (R Core Team, 2022).

Para evaluar la dependencia de las variables de desempeño con respecto al tiempo y tipo de microcosmos se compararon modelos de regresión lineal simple usando el paquete de la función betareg (Cribari-neto y Zeileis, 2010) mediante el Software R versión 4.1.0 (R Core Team, 2022). Los valores de cobertura y supervivencia se transformaron a proporciones entre 0 y 1. Se seleccionó el mejor modelo ajustado considerando el criterio de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) (Akaike, 1974). Un nivel de significancia del 0,05 se utilizó para evaluar los coeficientes

de regresión de cada modelo. El nivel de variabilidad explicada de cada modelo se indicó con  $R^2$ .

### 3.5 Resultados

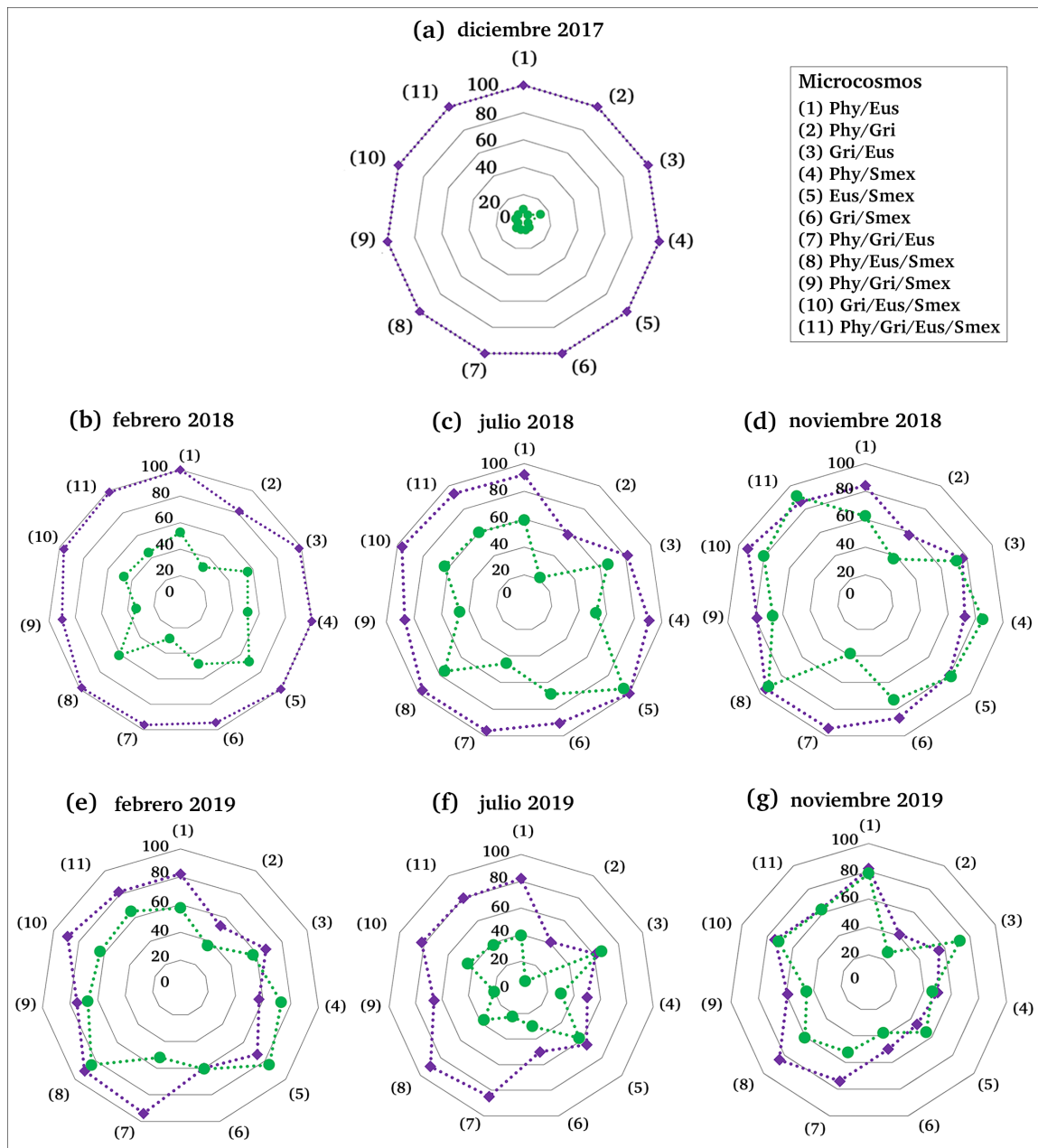
#### 3.5.1 Dinámica entre la cobertura vegetal y supervivencia por microcosmos.

Se registraron los valores mínimos de  $CVeg_{Mic.}$  y máximos de  $S_{Mic.}$  para todos los microcosmos al comienzo del ensayo en diciembre 2017 (Figura 3.6 a). En la Figura 3.6 (a-d) se muestran la dinámica entre  $CVeg_{Mic.}$  y  $S_{Mic.}$ , para el Ciclo 1. Cinco microcosmos lograron una  $CVeg_{Final 1} > 80 \%$ : Phy/Eus/Smex (92,2 %), Phy/Gri/Eus/Smex (91,1 %), Phy/Smex (85,3 %), Eus/Smex (81,4 %) y Gri/Eus/Smex (80,3 %) (Figura 3.6 d: 4, 6, 8, 10, 11). Phy/Eus/Smex y Phy/Gri/Eus/Smex presentaron diferencias significativas en su  $CVeg_{Final 1}$  con respecto a Phy/Gri/Eus y Phy/Gri, los cuales solo lograron valores  $< 50 \%$  (38,4 y 37,4 %, respectivamente) ( $F= 11,4$ ;  $p= 0,0001$ ). Se observaron diferencias estadísticas significativas en la  $S_{Final 1}$  en donde seis microcosmos lograron una excelente  $S_{Mic.} > 80 \%$  (Phy/Eus/Smex= 95 %; Phy/Gri/Eus= 94,4 %; Gri/Eus/Smex= 93 %; Gri/Smex= 86,6 %; Phy/Gri/Eus/Smex= 86,3 %; Phy/Eus= 84,5 %) y se diferenciaron significativamente con respecto a Phy/Gri, que disminuyó su  $S_{Mic.}$  a 57,7 %. Los microcosmos Phy/Smex, Gri/Eus, Phy/Gri/Smex y Eus/Smex no mostraron diferencias significativas entre sí y con respecto al resto de los microcosmos para el final del Ciclo 1 ( $F=5,34$ ;  $p= 0,0005$ ).

Durante el verano del Ciclo 2 (Figura 3.6 e) se registró una notable disminución en el desempeño de los microcosmos, siendo aún más evidente en invierno (Figura 3.6 f). Si bien, la  $CVeg_{Final 2}$  no alcanzó los valores destacados de  $CVeg_{Final 1} (> 90 \%)$ , todos los microcosmos (con excepción de Phy/Gri; Figura 3.6 g: 2) muestran una tendencia a recuperarse hacia la primavera tardía (Figura 3.6 f) pasando el invierno (Figura 3.6 e). Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la  $CVeg_{Final 2}$  de los microcosmos ( $F= 6,36$ ;  $p= 0,0002$ ). Las combinaciones de Phy/Eus, Gri/Eus y Gri/Eus/Smex lograron el mejor desempeño con valores de 78,6 %, 72,2 % y 71,2 %, respectivamente, y fueron significativamente diferentes con respecto a Gri/Smex y Phy/Gri, los cuales tuvieron el desempeño más bajo (37,8 y 25,6 %, respectivamente). Los microcosmos Phy/Eus y Phy/Gri/Eus incrementaron su  $CVeg_{Mic.}$  en un 20 %; Gri/Eus y Gri/Eus/Smex la mantuvieron entre el 60 y 75 (Figura 3.6 g). En cuanto  $S_{Final 2}$ , sólo dos microcosmos, (Phy/Eus/Smex y Phy/Eus) lograron valores de  $S_{Final 2}$  de 84,6 y 82,4

%, en comparación a Phy/Gri, que disminuyó su  $S_{Final 2}$  a 41 % ( $F= 4,72$ ;  $p= 0,0012$ ). El resto de los microcosmos no mostraron diferencias entre sí y con respecto a estos microcosmos.

En el ANEXO III se adjuntan la Figura Suplementaria 3.1 con las curvas de perfiles multivariados de la DCVeg, y Figuras Suplementarias 3.2 y 3.3 con fotografías vista desde arriba en plano horizontal de cada microcosmos para ambos ciclos.



**Figura 3.6** Gráficos radial de la dinámica entre la  $CVeg_{Mic}$  (puntos y líneas de color verde) y la  $S_{Mic}$  (cuadrados y líneas color violeta) para siete fechas: Ciclo 1: (a) diciembre 2017 (b) febrero 2018 (c) julio 2018 (d) noviembre 2018; Ciclo 2: (e) febrero 2019 (f) julio 2019 (g) noviembre 2019. En la esquina derecha de la figura se muestra la leyenda con los números correspondientes a cada microcosmos.

### 3.5.2 Modelos de regresión lineal para cobertura vegetal y supervivencia

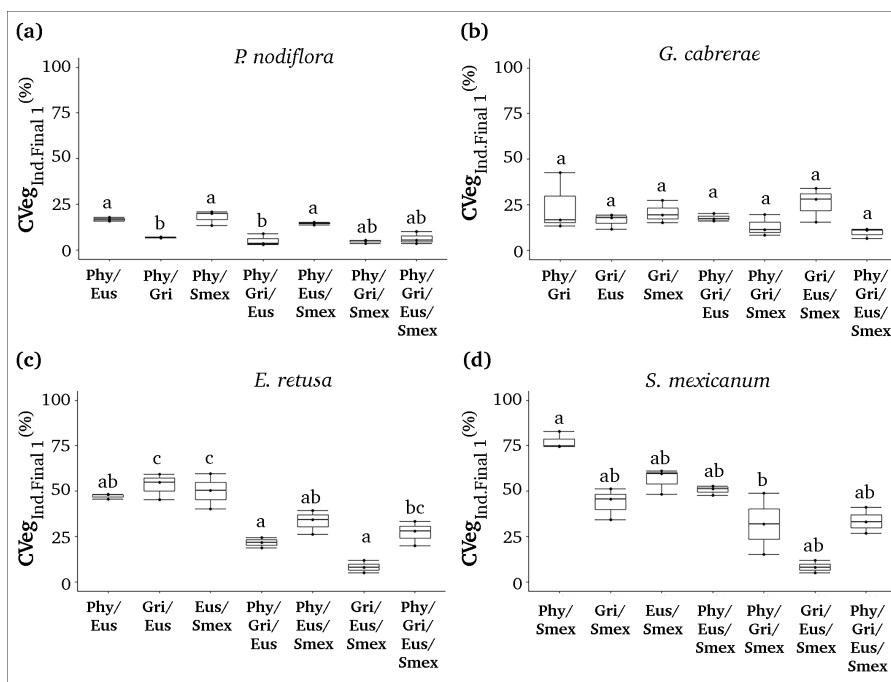
La  $CV_{\text{Mic}}$  tuvo un buen ajuste para explicar la variabilidad del modelo ( $R^2$ : 0,82; Tabla 3.3.) con el tipo de microcosmos y el tiempo durante los dos años (i.e., meses representativos). Cuando se consideraron las variables microcosmos (Mic.) y tiempo (T) por separado, la variabilidad fue menor (Tabla 3.3). Durante los dos ciclos, la  $S_{\text{Mic}}$  presentó mayor relación con el tiempo (i.e., meses representativos). De los principales efectos, el T explicó la mayor parte de la variabilidad en la  $S_{\text{Mic}}$  cuando se consideró el modelo solo ( $R^2=0,56$ ), mientras que los Mic. mucho menos ( $R^2= 0,07$ ;  $p= 0,05$ ; Tabla 3.3.). Cuando se consideró, el modelo de microcosmos anidado con el T, mostró un buen ajuste del modelo (Tabla 3.3). La Tabla 3.3 resume todos los resultados y muestra en ranking de los modelos según los parámetros de AIC y BIC.

**Tabla 3.3** Modelo de regresión beta para cobertura y supervivencia de los microcosmos, en ranking de los mejores modelos (AIC y BIC de valores más bajos) a los más bajos. Variables explicativas: microcosmos (Mic.= combinaciones de dos, tres y cuatro especies;  $n=11$ ,  $r=3$ ) y tiempo (T= siete meses representativos).

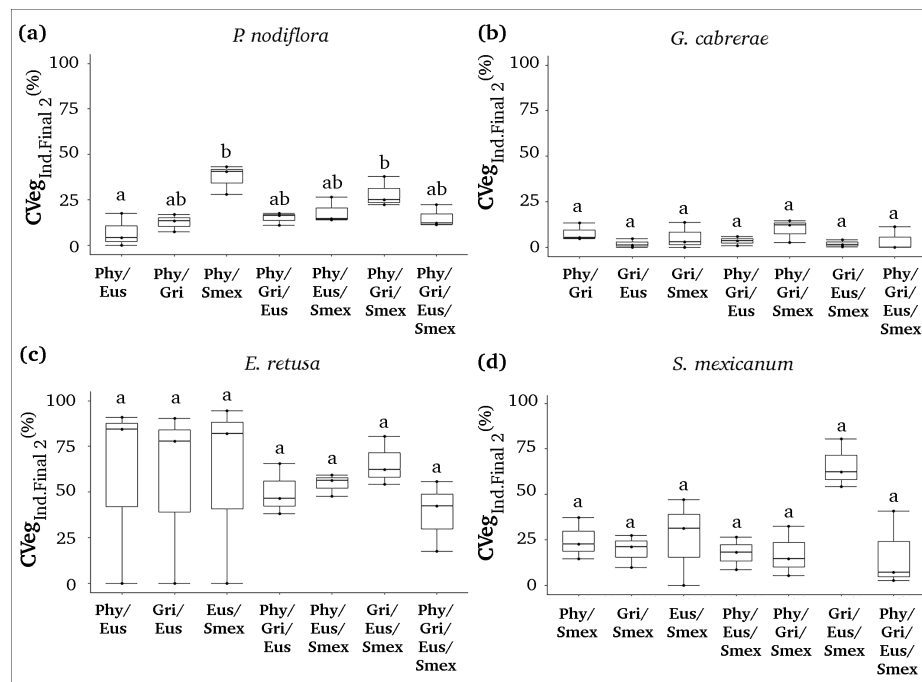
Modelo	df	$R^2$ (pseud)	logLik	AIC	BIC	Ranking
<b>Cobertura vegetal de los microcosmos (<math>CV_{\text{Mic}}</math>)</b>						
Mic./T	53	0.82	171.70	-237.49	-75.85	1
Mic. + T	11	0.29	59.47	-96.94	-61.28	2
Mic.	10	0.27	56.26	-92.51	-60.09	3
T	3	0.023	32.73	-59.45	-49.12	4
<b>Supervivencia de los microcosmos (<math>S_{\text{Mic}}</math>)</b>						
M + T	13	0.62	501.7	-977.46	-932.71	1
T	3	0.56	450.4	-894.82	-884.49	2
M	12	0.07	360.4	-655.57	-696.88	3
M/T	49	0.76	174.2	-104.79	-250.31	4

### 3.5.3 Evaluación de la cobertura vegetal individual por especie

De acuerdo a la escala Domin-Krajina, *P. nodiflora* y *E. retusa* desempeñaron valores de  $CV_{\text{VegInd.Final 1}}$  mayores en comparación con la  $CV_{\text{VegInd.Final 2}}$  (Figura 3.7 a y c; Figura 3.8 a y c, respectivamente). En general, al final del Ciclo 1, *P. nodiflora* logró valores mayores de  $CV_{\text{VegInd.Final 1}}$  cuando se combinó de a dos especies con respecto a los microcosmos combinaciones con tres o cuatro especies (Figura 3.7 a;  $F= 9,27$ ;  $p= 0,0003$ ). Sin embargo, algunas combinaciones con dos y tres especies mostraron valores de  $CV_{\text{VegInd.Final 1}}$  comparables y valores aún mayores (i.e., Phy/Eus; Phy/Smex y Phy/eus/Smex 16% 18% y 14,5%, respectivamente; Figura 3.7 a). Se encontraron diferencias significativas en la  $CV_{\text{VegInd.Final 2}}$  de *P. nodiflora* entre los microcosmos ( $F= 5,36$ ;  $p= 0,0042$ ; Figura 3.8 a). Los mayores valores se encontraron en los microcosmos Phy/Smex y Phy/Gri/Smex (28,4 y 37,3 %, respectivamente). En cuanto a *G. cabreriae* no mostró diferencias significativas en su  $CV_{\text{VegFinal 1 y 2}}$  (Figura 3.7 b y 3.8 b; Ciclo 1:  $F= 1,6$ ;  $p= 0,2192$ ; Ciclo 2:  $F= 0,95$ ;  $p=0,4901$ ). *Eustachys retusa*, mostró diferencias significativas en su desempeño entre los microcosmos al final del Ciclo 1 (Figura 3.7 c;  $F= 21,67$ ;  $p= 0,0001$ ). Para esta especie también se observaron valores altos de  $CV_{\text{VegInd.Final 1}}$  cuando se combinó con dos especies (i.e., Eus/Smex= 50,3 %; Gri/Eus= 53,2 %, respectivamente) en comparación con otros microcosmos de tres especies (Phy/Gri/Eus= 21,7 %; Gri/Eus/Smex= 28,4 % respectivamente (Figura 3.7 c). Esta especie mostró un aumento importante en su  $CV_{\text{VegInd.Final 2}}$  en todos los microcosmos, donde no se encontraron diferencias significativas entre ellos ( $F= 1,40$ ;  $p= 0,2817$ ; Figura 3.8 c). Con respecto a *S. mexicanum*, esta especie mostró variaciones al final de cada ciclo (Figuras 3.7 d y 3.8 d), pero éstas fueron sólo significativas al final del Ciclo 1 ( $F= 4,16$ ;  $p= 0,0132$ ; Ciclo 2:  $F= 0,12$ ;  $p= 0,9920$ ). El mejor desempeño de *S. mexicanum* se observó en las combinaciones Phy/Smex y Phy/Gri/Smex en ambos ciclos (Figura 3.7 d y 3.8 d). En el ANEXO III, se adjuntan dos gráficos acumulados para representar la  $CV_{\text{VegInd.Final 1 y 2}}$  para cada una de las especies (Figuras Supl. 3.4 y 3.5).



**Figura 3.7** Desempeño de la cobertura vegetal individual por especie ( $CVeg_{Ind.Final\ 1}$ , %) para el final del Ciclo 1 (noviembre 2018). Las cajas representan el rango intercuartil; la barra horizontal superior es el valor más alto; la línea horizontal inferior representa el valor más bajo; los círculos representan la media (centro) y mediana (entre la caja). Medias con letras disímiles son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , Test de Tukey) (a)  $CVeg_{Ind.Final\ 1}$  *P. nodiflora* (b)  $CVeg_{Ind.}$  *G. cabrerai* (c)  $CVeg_{Ind.Final\ 1}$  *E. retusa* (d)  $CVeg_{Ind.Final\ 1}$  *S. mexicanum*.

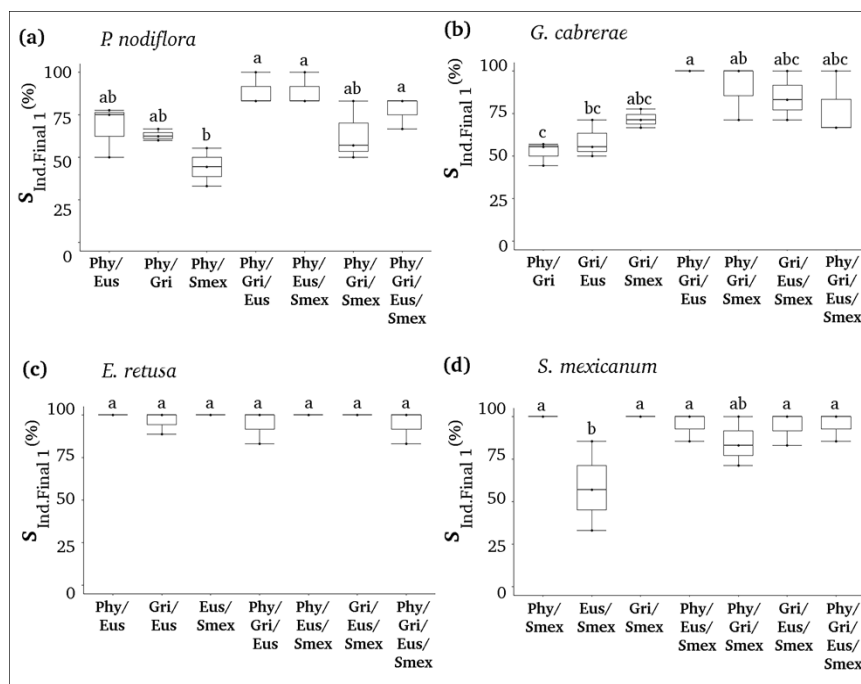


**Figura 3.8** Desempeño de la cobertura vegetal individual por especie (CVeg<sub>Ind. Final 2</sub>, %) para el final del Ciclo 2 (noviembre 2019). Las cajas representan el rango intercuartil; la barra horizontal superior es el valor más alto; la línea horizontal inferior representa el valor más bajo; los círculos representan la media (centro) y mediana (entre la caja). Medias con letras dísimiles son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , Test de Tukey) (a) CVeg<sub>Ind. Final 2</sub> *P. nodiflora* (b) CVeg<sub>Ind. Final 2</sub> *G. cabreriae* (c) CVeg<sub>Ind. Final 2</sub> *E. retusa* (d) CVeg<sub>Ind. Final 2</sub> *S. mexicanum*.

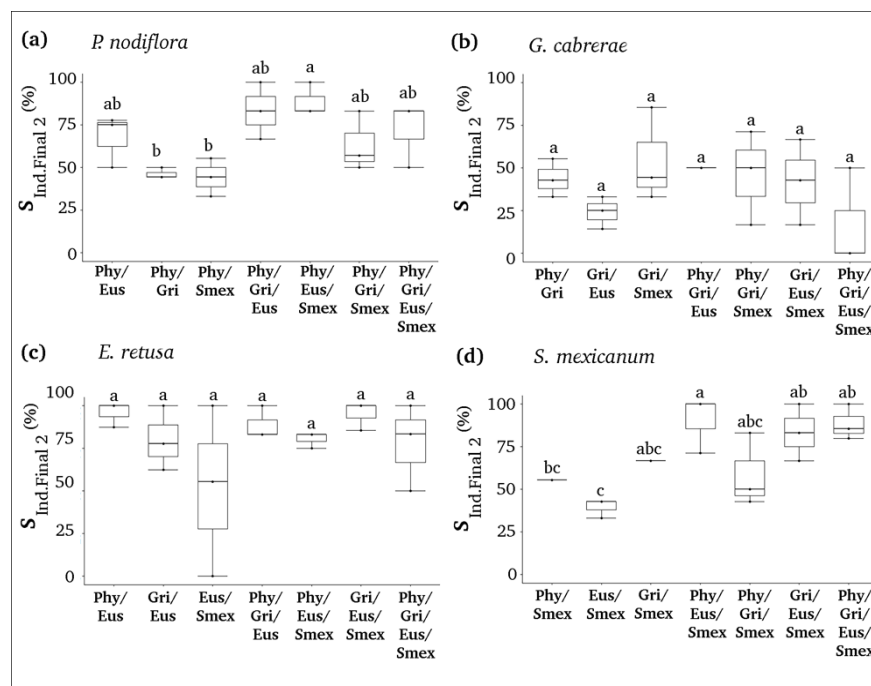
### 3.5.3 Evaluación de la supervivencia individual por especie

La especie *P. nodiflora* mostró mayor  $S_{Ind.Final 1}$  en los microcosmos Phy/Gri/Eus/Smex (77,8 %), Phy/Gri/Eus (88,9 %) y Phy/Eus/Smex (88,9 %) con respecto al microcosmos combinado con dos especies Phy/Smex, en donde fue considerablemente menor (44,4 %) ( $F=5,57$ ;  $p=0,0039$ ; Figura 3.9 a). Luego de dos años ( $S_{Ind.Final 2}$ ) sólo logró valores altos en el microcosmo Phy/Eus/Smex (88,8 %), mientras que en Phy/Smex se mantuvo en un 44,4 %, y en Phy/Gri disminuyó a 46,3 % ( $F=4,26$ ;  $p=0,0120$ ; Figura 3.10 a). No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el resto de los microcosmos con respecto a aquellos de mejor o peor desempeño. Con respecto al desempeño de la  $S_{Ind.Final 1}$  en *G. cabreriae*, se encontraron diferencias significativas en su desempeño ( $F=5,76$ ;  $p=0,003$ ; Figura 3.9 b). Logró un excelente desempeño (100 %) cuando se combinó con las otras dos especies nativas (Phy/Gri/Eus), y 90 % en Phy/Gri/Smex. Sin embargo, redujo en un 50 % su  $S_{Ind.}$  cuando se combinó con las especies nativas por separado (Phy/Gri= 52,4 %; Gri/Eus= 59 %). No se encontraron diferencias en  $S_{Ind.Final 2}$  entre los microcosmos ( $F=1,27$ ;  $p=0,3322$ ; Figura 3.10 b),

constituyendo la especie con mayor mortalidad. *Eustachys retusa*, al igual que para CVeg<sub>Ind.Final 1 y 2</sub>, logró sobrevivir en ambos ciclos, sin diferencias entre los microcosmos ( $S_{\text{Ind.Final 1}}$ :  $F= 0,68$ ;  $p= 0,6672$ ;  $S_{\text{Ind.Final 2}}$ :  $F= 1,24$ ;  $p= 0,3388$ ) (Figura 3.9 c). *S. mexicanum* disminuyó en un 50 % su  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  en el microcosmo Eus/Smex (58,7 %); sin embargo, en combinación con las herbáceas mantuvo su  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  en 100 % (Phy/Smex y en Gri/Smex) ( $F= 3,98$ ;  $p= 0,0155$ ; Figura 3.9 d). La  $S_{\text{Ind.Final 2}}$  varió en los diferentes microcosmos ( $F= 7,64$ ;  $p= 0,0009$ ; Figura 3.10 d). En microcosmos de 3 y 4 especies logró una alta  $S_{\text{Ind.}}$ : Phy/Eus/Smex= 90,5 %; Phy/Gri/Eus/Smex= 85,6 % y Gri/Eus/Smex 83,3 % en comparación a los microcosmos Smex/Eus y en Phy/Smex ( $S_{\text{Ind. Final 2}}$ = 39,7 %; 55,6 %, respectivamente).



**Figura 3.9** Gráficos de caja para la supervivencia individual por especie ( $S_{\text{Ind. Final 1}}$ , %) para noviembre 2018 (Ciclo 1). Las cajas representan el rango intercuartil; la barra horizontal superior es el valor más alto; la línea horizontal inferior representa el valor más bajo; los círculos representan la media (centro) y mediana (entre la caja). Medias con letras disímiles son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , Test de Tukey) (a)  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  *P. nodiflora* (b)  $S_{\text{Ind. Final 1}}$  *G. cabrerai* (c)  $S_{\text{Ind. Final 1}}$  *E. retusa* (d)  $S_{\text{Ind. Final 1}}$  *S. mexicanum*.



**Figura 3.10** Gráficos de caja para la supervivencia individual por especie ( $S_{\text{Ind.Final 2}}$ , %) para noviembre 2019 (Ciclo 2). Las cajas representan el rango intercuartil; la barra horizontal superior es el valor más alto; la línea horizontal inferior representa el valor más bajo; los círculos representan la media (centro) y mediana (entre la caja). Medias con letras disímiles son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ , Test de Tukey) (a)  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  *P. nodiflora* (b)  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  *G. cabrerana* (c)  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  *E. retusa* (d)  $S_{\text{Ind.Final 1}}$  *S. mexicanum*.

### 3.6 Discusión

Este estudio tuvo por objetivo evaluar el desempeño de las especies seleccionadas en monocultivo en combinaciones poli específicas durante dos ciclos anuales en CVE. Cinco microcosmos (Phy/Eus; Gri/Eus; Phy/Eus/Smex; Gri/Eus/Smex; Phy/Gri/Eus/Smex) alcanzaron valores de coberturas comparables (entre 60 y 80 %) a los recomendados por guías Alemanas FLL, 2008). El desempeño de una comunidad de plantas puede estar direccionado por especies dominantes (Tilman y Lehman, 2002; Lundholm et al., 2010). En los resultados presentados, independientemente del número (2, 3 o 4) de especies combinadas se alcanzó un excelente desempeño, y presentaron tanto a las especies dominantes *E. retusa* y/o *S. mexicanum*, y/o *P. nodiflora* y/o *G. cabrerana*. Además de presentar una excelente capacidad de cobertura, *E. retusa* no presentó mortalidad significativa en los diferentes microcosmos durante ambos ciclos, y formó parte de los cinco mejores microcosmos. Esto puede estar relacionado a su patrón de crecimiento y además a su capacidad de generar semillas viables (Martinat y Gil, 2021; Robbiati et al., 2022), tal como fue observado en condiciones de monocultivo (Capítulo 2). El banco de semillas es un importante recurso para sostener la diversidad en CV, reduciendo

el costo de replantación en CV (Getter y Rowe, 2006). Robbiati et al. (2022) reportaron que *E. distichophylla* y especies de *Sedum* sp. también fueron más abundantes en el ensamble de la comunidad de plantas en una CV en el centro de la isla de calor de la ciudad de Córdoba. Klein y Coffman (2015) quienes evaluaron mezclas de especies por un período similar al usado en este trabajo de Tesis, observaron la dominancia de *B. gracilis* (Poaceae). Estos autores indicaron la tendencia hacia una comunidad vegetal de tipo pradera.

Se observó que la disminución en la cobertura de los microcosmos ocurrió principalmente durante el segundo invierno (julio 2019; Ciclo 2), en donde *G. cabreræ* fue las más afectadas en comparación con las otras especies. Sin embargo, no todas las especies mostraron el mismo desempeño en términos de supervivencia, dado que *E. retusa* y *S. mexicanum* tuvieron una baja mortalidad. El modelo de regresión lineal determinó que el tiempo (i.e., en los meses muestreados) es el principal factor que podría explicar nuestros resultados en términos de supervivencia. La competencia entre las especies y las condiciones climáticas particulares podrían explicar estas diferencias entre la supervivencia de las especies entre los microcosmos (Heim y Lundholm, 2014). En un estudio llevado a cabo por Brown y Lundholm (2015) se observó la influencia del clima en la composición de las especies, en donde, en años más secos, la supervivencia de aquellas menos tolerantes al frío se veía afectada. Farrell et al. (2013) estudiaron que los cambios en las propiedades del sustrato como la capacidad de retención de agua puede afectar el agua disponible para las plantas, y sugieren el uso de aditivos como hidrogeles y silicatos para aumentar el agua disponible para las plantas. Es importante destacar el desempeño de *E. retusa* y *S. mexicanum* en estos sistemas extensivos, ya que pueden brindar servicios ecosistémicos como la fijación de carbono y el ahorro energético (Robbiati et al., 2022). Por otro lado, *G. cabreræ* si bien fue la especie que tuvo bajo desempeño en los microcosmos Phy/Gri, Gri/Smex, Phy/Gri/Eus/Smex, Phy/Gri/Smex y Gri/Eus/Smex, sobrevivió durante los dos años. Además, esta especie podría ser muy importante para aumentar la biodiversidad de las CVE dentro de los microcosmos porque atrae polinizadores, como la mayoría de las Asteraceae de la región (Torres y Galetto, 2008) y además ofrece estructura para otros tipos de plantas, incluso aportando baja cobertura y sobreviviendo con pocos individuos a lo largo plazo. Limitaciones en el crecimiento de especies herbáceas erguidas como *Erigeron* sp. o *Hedeoma* sp. han sido previamente documentados, en donde de un grupo inicial de 23 especies, 16 murieron después de seis años (Schneider et al., 2014). En oposición a los resultados encontrados en esta Tesis, Chell et al. (2022) encontraron un

excelente desempeño en este tipo de plantas después de cuatros años en regiones subtropicales de Australia. Estas diferencias en los resultados, podrían indicar que las condiciones extremas de regiones semiáridas son un importante factor a tener en cuenta para seleccionar especies en CVE. Para mejorar el desempeño de herbáceas como *G. cabreræ*, Dunnett (2015) sugiere aumentar la densidad de plantación inicial, o disminuir la densidad inicial de aquellas especies que luego se vuelven dominantes.

La combinación de especies tuvo un notable impacto en el desempeño de los microcosmos en general después de dos años de evaluación. En los mejores microcosmos, las especies de mayor desempeño lograron compensar la pérdida de aquellas con menor cobertura y/o supervivencia. Chell et al. (2022) encontraron un patrón similar en comunidades mixtas en CV, al cual llamaron efecto de relleno del inglés “*gap filling effect*”.

### **3.7 Conclusión**

El primer ciclo de evaluación mostró un incremento de la  $CVeg_{Total}$  en los once microcosmos evaluados con respecto a la cobertura inicial. Cinco combinaciones lograron valores de cobertura mayores al 60 %. La supervivencia se mantuvo entre un 60 y 95 %. Al final del segundo ciclo, ambas variables se vieron afectadas, sin embargo cinco combinaciones, independientemente del número de especies asociadas, mantuvieron la  $CVeg_{Total}$  y  $S_{Total}$  entre un 60 y 80 %. Las mejores combinaciones fueron Phy/Eus, Gri/Eus, Phy/Eus/Smex, Gri/Eus/Smex y Phy/Gri/Eus/Smex. En general, se observó que las especies *E. retusa* y *S. mexicanum* fueron claves para mantener un desempeño óptimo entre los microcosmos.

Si bien, no se estableció la identidad de los factores que afectaron la supervivencia de las especies herbáceas, después de dos ciclos de evaluación, se considera importante para el diseño de CVE diversas para regiones semiáridas, utilizar como base las especies *E. retusa* y *S. mexicanum*. Estas especies tienen la habilidad de autorregularse en el tiempo (por semillas o propágulos), y además pueden ser beneficiosas para el crecimiento de especies menos tolerantes como *P. nodiflora* o *G. cabreræ*. Si bien, estas dos últimas especies, presentaron menor desempeño, tienen la capacidad de rebrotar y ofrecer floración abundante, brindando beneficios sociales y ecológicos.

---

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS A ESCALA REAL DE ATRIBUTOS DE DIVERSIDAD EN CUBIERTAS VEGETADAS EXTENSIVAS

#### 4.1 Introducción

La biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados direccionan el stock del capital natural que produce bienes y servicios que las personas obtenemos de ella (De Groot et al., 2002). La capacidad de la vegetación de brindar servicios ecosistémicos en los ambientes construidos (como la regulación de la temperatura, la captación del agua de lluvia, la captura de carbono, la remoción de contaminantes de efecto invernadero, la biodiversidad, entre otros), depende en gran parte de un buen manejo y selección de plantas en los diferentes componentes que atraviesan la IV de una ciudad (Gill et al., 2007; Wu, 2014; Farrell et al., 2022). En una CV, la comunidad vegetal implantada puede compensar parcialmente beneficios ambientales que proveen las áreas naturales o seminaturales cuando éstas son reemplazadas por el ambiente construido (Oberndorfer et al., 2007).

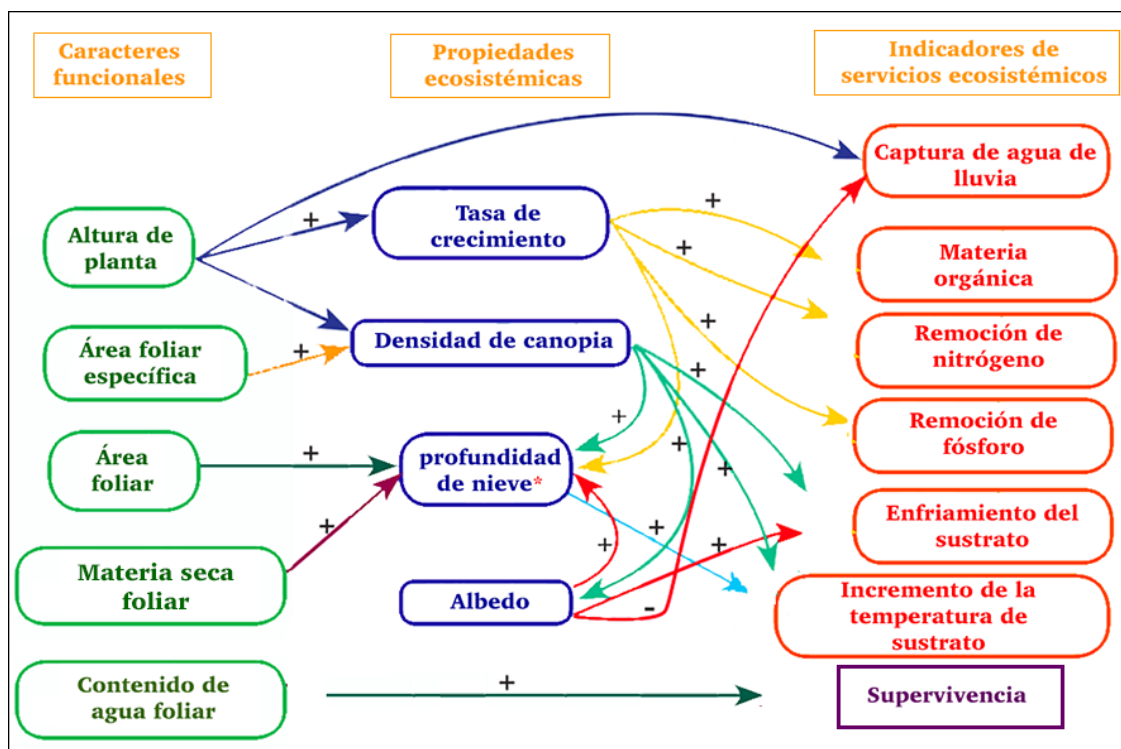
Las CV diseñadas sólo a base de especies del género *Sedum*, no siempre contribuyen a integrar los múltiples servicios que las CV pueden ofrecer (Lundholm et al., 2010; Cook-Patton y Bauerle, 2012). Sin embargo, éstos se pueden potenciar modificando la composición de dicha comunidad (Lundholm, 2015). En ecosistemas terrestres (i.e., praderas, bosques, pastizales), se han encontrado relaciones positivas en ensambles de plantas más diversificados, asociándolos a una mayor productividad (Tilman et al., 2001). En este punto, la complementariedad de nicho puede aumentar la productividad de un sistema con el incremento de la diversidad de especies. Esta diversidad está dada por diferentes formas de crecimiento (i.e., suculentas, arbustos, gramíneas, herbáceas), las cuales representan estrategias de vida con patrones de crecimiento y uso de recursos diferentes (Cook-Patton y Bauerle, 2012).

Como se mencionó en el Capítulo 2, los criterios de selección de especies basadas en la analogía de hábitats se ha posicionado como el método convencional para explorar, evaluar y

ampliar las alternativas con respecto a aquellas especies convencionales (i.e., *Sedum* sp.) (Van Mechelen et al., 2015; Nagase y Tashiro-Ishii, 2018). Walker y Lundholm (2018) no descartan que este enfoque pueden emplearse como un primer filtro de selección de especies con potencial de tolerar las condiciones extremas propias de una CVE; sin embargo, sólo por incluir especies nativas no es suficiente para evaluar las funciones y beneficios que estos sistemas ofrecen. Por tal motivo es que numerosos autores proponen el uso de técnicas basadas en la medición rápida y fácil de caracteres funcionales de las especies (e.g., características morfo-fisiológicas de las hojas y el tamaño de planta, entre otras) (Cook-Patton, 2015; Lundholm et al., 2015; Rayner et al., 2016). Existe vasta evidencia de que la diversidad de las características de las plantas puede afectar los procesos ecosistémicos a diferentes escalas (Díaz et al., 2007; Pérez-Harguindeguy et al., 2016). La diversidad funcional de una comunidad vegetal (natural o construida), definida como “*el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los caracteres funcionales de los organismos que constituyen un ecosistema*”, regula los procesos ecológicos de los ecosistemas y, por lo tanto, genera mayor prestación de beneficios ambientales (Lavorel y Garnier, 2002; Díaz et al., 2007). Lavorel y Garnier (2002), Cornelissen et al. (2003) y Violle et al. (2007) refieren a los caracteres o rasgos funcionales de las plantas como “*aquellas características morfológicas, fisiológicas y/o fenológicas que se relacionan con la supervivencia y la reproducción de las especies, y con los procesos ecológicos que determinan uno o más servicios ecosistémicos*”. El estudio de la complejidad funcional de las especies permite comprender las relaciones dinámicas que se establecen entre las comunidades bióticas y los factores abióticos, además de conocer cuáles y cómo ciertos caracteres funcionales responden a cambios ambientales y modifican el funcionamiento de los ecosistemas (Díaz y Cabido, 2001; Lundholm et al., 2010; Xie et al., 2018).

Numerosos autores han evaluado el desempeño y los beneficios que proveen las CVE a partir de la selección de caracteres funcionales de las plantas. Por ejemplo, Farrell et al. (2013b), en Australia, encontraron que especies de alto consumo de agua también pueden ser estrés-tolerantes cuando el recurso es limitante; Lundholm et al. (2014) empleó caracteres foliares para predecir el crecimiento de especies en un clima frío, húmedo y marítimo. Van Mechelen et al. (2014b) realizaron un listado de caracteres funcionales a tener en cuenta para el uso de plantas en un clima mediterráneo del sur de Francia; Rayner et al. (2016), Ksiazek-Mikenas y Köhler (2018) y Guo et al. (2021) quienes evaluaron caracteres fisiológicos y su relación con la supervivencia; y Xie et al. (2018) quienes determinaron que la diversidad funcional y

filogenética de un ensamble de plantas está positivamente relacionado con la capacidad de enfriamiento del sistema de CV. Lundholm et al. (2015) fueron los primeros en estudiar que este enfoque podría ser empleado como un método fácil para predecir múltiples servicios ecosistémicos (i.e., retención del agua de lluvia, secuestro de carbono, remoción de nitrógeno y fósforo) a partir de la medición de cuatro caracteres funcionales (área foliar, área foliar específica, materia seca de hoja y altura de planta) en especies suculentas, gramíneas y herbáceas, directa o indirectamente a través de propiedades como la densidad de la canopia o el albedo. En la Figura 4.1 se presenta un diagrama con la relación, directa o indirecta, de cinco caracteres funcionales frecuentemente empleados en CVE, para la predicción de indicadores de servicios ecosistémicos.



**Figura 4.1** Diagrama de ruta caracteres funcionales de plantas utilizados para la predicción de servicios ecosistémicos. Caracteres funcionales: altura de planta; área foliar específica; área foliar; materia seca foliar; contenido de agua foliar. Figura adaptada de Lundholm et al. (2015) y Rayner et al. (2016).

Una de las formas convencionales de caracterizar la composición funcional de una determinada comunidad vegetal está dada a partir de la combinación de las especies por tipos o grupos funcionales (Díaz y Cabido, 2001; Lundholm et al., 2015). Una comunidad de plantas diversificada en más de una especie y/o forma de crecimiento puede aportar más de una función

al sistema si algunas características como la altura o disposición del follaje difieren entre las mismas (Farrell et al., 2013; Lundholm, 2015; Lundholm et al., 2015). Según el estudio llevado a cabo por Nagase y Dunnett (2012) las plantas con estructura, altura, mayor diámetro, mayor biomasa aérea y radicular como las gramíneas demostraron ser más efectivas en reducir la escorrentía del agua de lluvia con respecto a las suculentas. Sin embargo estas últimas, fueron más efectivas con respecto a suelos desnudos. Por ejemplo, el género *Carex* presentan mejor potencial de reducción del agua de escorrentía con respecto a otras formas de crecimiento (i.e., herbáceas altas, *Solidago bicolor*), y esto se debe principalmente a características como su densidad de canopia, su altura y su sistema radicular homorrizo (MacIvor y Lundholm, 2011). Mientras que, algunas herbáceas altas, como *S. bicolor*, pueden disminuir la temperatura del sustrato, funcionando como facilitadoras para la supervivencia de otras menos tolerantes (Heim y Lundholm, 2014; Steinfort et al., 2018). Las especies con igual forma de crecimiento pueden compartir o diferir en sus características morfológicas, anatómicas o fisiológicas, por lo que la caracterización por grupos o tipos funcionales, se aplica para cuantificar y agrupar las especies de acuerdo a sus similitudes y/o diferencias (Lundholm et al., 2010; et al., 2015; Lundholm y Williams, 2015; Arriola-Cepeda et al., 2018). Un primer paso se presenta en encontrar plantas claves que expresen divergencia entre sus características para disminuir la redundancia entre las mismas y aumentar la predicción de los servicios prestados (Lundholm et al., 2015).

## **4.2 Hipótesis**

Un aumento en los atributos de diversidad (i.e., composición: diferentes especies; estructura: diferentes formas de crecimiento; y funcional: servicios ecosistémicos) utilizando los mejores materiales seleccionados mejoran el desempeño de las CVE en condiciones de techo a escala real de edificio. Se espera que aquellos tratamientos combinados de especies con  $\geq 2$  formas de crecimiento y  $\geq 2$  grupos funcionales puedan expresar un mejor desempeño.

## **4.3 Objetivos**

1. Caracterizar grupos funcionales de ocho especies vegetales a partir de cinco caracteres funcionales.
2. Evaluar la supervivencia y cobertura vegetal, como indicadores de desempeño, comparando atributos de biodiversidad desde monocultivos hasta microcosmos combinando más de dos especies, formas de crecimiento y grupos funcionales.

3. Analizar la relación entre las variables de desempeño (supervivencia y cobertura vegetal) en los diferentes microcosmos.
4. Sistematizar y ordenar los microcosmos, desde los monocultivos hasta las combinaciones poli-específicas, utilizando un índice de desempeño vegetal para CVE, que permitan hacer una recomendación de aquellos con mejor potencial de uso en nuestra región.

#### **4.4 Materiales y Métodos**

##### **4.4.1 Construcción de cubierta vegetal extensiva a escala real.**

La evaluación de atributos de diversidad en condiciones de CVE se llevó a cabo durante un periodo de un año, desde septiembre 2018 hasta septiembre 2019. Para lo mismo se construyó un sistema de CVE a escala real de 78 m<sup>2</sup> sobre el techo del edificio donde regularmente funcionan las aulas taller en la Facultad de Arquitectura de la UCC (ANEXO I, Figura Suplementaria 1.1). El techo está expuesto a pleno sol, sin edificios o estructuras alrededor que le proporcionen sombra. Para la construcción del ensayo se utilizó la versión mejorada del sistema modular de CVE detallada en la sección 3.4.1 (p. 57) de la Tesis. En la Figura 4.2 se muestran las etapas de construcción del sistema CVE a escala real. Se contó con una estación meteorológica, localizada en el mismo techo que la CVE, para el registro de la T<sub>máx</sub> (°C), T<sub>mín</sub> (°C) y T<sub>media</sub> (°C). Las T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> anual fueron de 24,3 °C y de 7,3 °C, respectivamente. Por problemas técnicos de dicha estación, no se logró registrar la precipitación. De acuerdo a datos provistos por el SMN de la Estación Observatorio Hidrometeorológico de la provincia de Córdoba, la precipitación media del periodo fue de 456 mm. Comparando con los valores históricos de precipitaciones este periodo fue seco, mientras que las temperaturas se consideraron normales (ver Sección 3.4, p.55).

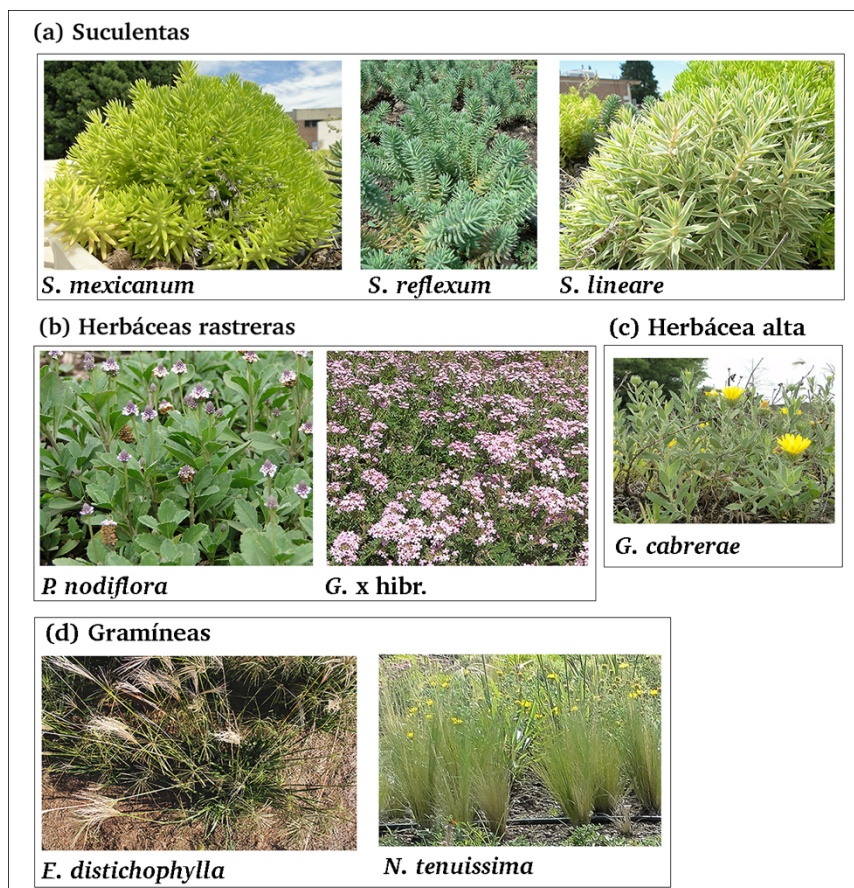


**Figura 4.2** Construcción de CVE a escala real de techo para la evaluación de atributos de biodiversidad. Facultad de Arquitectura-UCC. Fecha: septiembre 2018.

#### 4.4.2 Material vegetal para la evaluación de atributos de diversidad

Se utilizaron ocho especies de cuatro formas de crecimiento (Figura 4.3 a-d). Tres de ellas, fueron las especies previamente caracterizadas, evaluadas y seleccionadas en monocultivo y evaluadas en combinaciones poli-específicas en los Capítulos 2 y 3 de la presente tesis: *S. mexicanum*, *P. nodiflora* y *G. cabreræ* (Figura 4.3 a, b, c). Para incrementar y evaluar los atributos de biodiversidad en el sistema de CVE, desde la composición (número de especies) y estructura (formas de crecimiento) hasta la diversidad funcional (caracteres funcionales), se decidió incorporar cinco especies más: dos suculentas del género *Sedum*: *S. reflexum* (L.) y *S. lineare* Thunb (Crassulaceae) (Figura 4.3 a); *G. x* híbr. (Figura 4.3 b), y dos especies de gramíneas: una especie del género *Eustachys*, *E. distichophylla* (Lag.) Nees, y otra del género *Nassella*, *N. tenuissima* (Trin.) Barkworth (Figura 4.3 d). En lugar de emplear la especie *E. retusa*, previamente caracterizada y seleccionada, se decidió incorporar *E. distichophylla* dado que posee una mayor altura de planta y un diámetro de macollo mayor. Las dos especies de gramíneas nuevas incorporadas son ampliamente utilizadas en proyectos de paisajismo de bajo mantenimiento y de fácil acceso comercial (Vázquez Novoa, 2020). Todas las especies utilizadas fueron obtenidas a partir de propagación agámica (i.e., esquejes de tallo y división de macollos). Se cultivaron por un período de 30 días en el invernáculo de la UCC. Una vez que

los individuos lograron un buen desarrollo radicular en todo el pan de tierra y buen desarrollo aéreo se trasplantaron a la CVE en septiembre, 2018.



**Figura 4.3** Material vegetal utilizado para la confección de los microcosmos (a) Suculenta: *S. mexicanum*; *S. lineare*; *S. reflexum* (b) Herbáceas rastreras: *P. nodiflora*; *G. x hybr.* (c) Herbácea alta: *G. cabreræ* (d) Gramíneas: *E. distichophylla*; *N. tenuissima*.

#### 4.4.3 Diseño experimental

Se utilizaron 22 microcosmos con 3 repeticiones cada uno en un diseño experimental completamente aleatorio. En la Tabla 4.1 se detalla la configuración de cada microcosmos, incluyendo las especies y las formas de crecimiento asociadas en cada uno, con su código de identificación. Se evaluaron las ocho especies en monocultivo, y en combinación de acuerdo a la mezcla por igual forma de crecimiento (i.e, suculenta, herbácea rastrera, herbácea erguida, gramínea), de a dos, tres y cuatro de formas de crecimiento. El área total de la CVE ocupada por los microcosmos fue de 49,5 m<sup>2</sup>, la cual se distribuyó de la siguiente manera:

- 8 (monocultivos) x 3 (réplicas de 0,5 m<sup>2</sup>)= 12 m<sup>2</sup>
- 3 (microcosmos de 1 forma de crecimiento) x 3 (réplicas de 0,5 m<sup>2</sup>)= 4,5 m<sup>2</sup>
- 11 (total microcosmos de 2, 3, y 4 formas de crecimiento) x 3 (réplicas de 1 m<sup>2</sup>)= 33 m<sup>2</sup>.

La densidad de plantación fue de 18 a 24 individuos por especie y por m<sup>2</sup> dependiendo de la combinación de plantas y de formas de crecimiento. Esta densidad varió de acuerdo a la cantidad de especies y formas de crecimiento asociadas y a la superficie del módulo asignada a cada microcosmos. Por ejemplo, para las combinaciones de 4 formas de crecimiento, se incluyeron 8 especies, con tres individuos por especie y por m<sup>2</sup>. Para asegurar un buen establecimiento inicial del material vegetal se realizó un riego de implantación de 10 L.m<sup>-2</sup> por microcosmos, inmediatamente después del trasplante, durante las dos primeras semanas. Después de este período, el riego se realizó con un sistema automatizado por goteo (2 L.h<sup>-1</sup>), durante 30 minutos, dos veces a la semana.

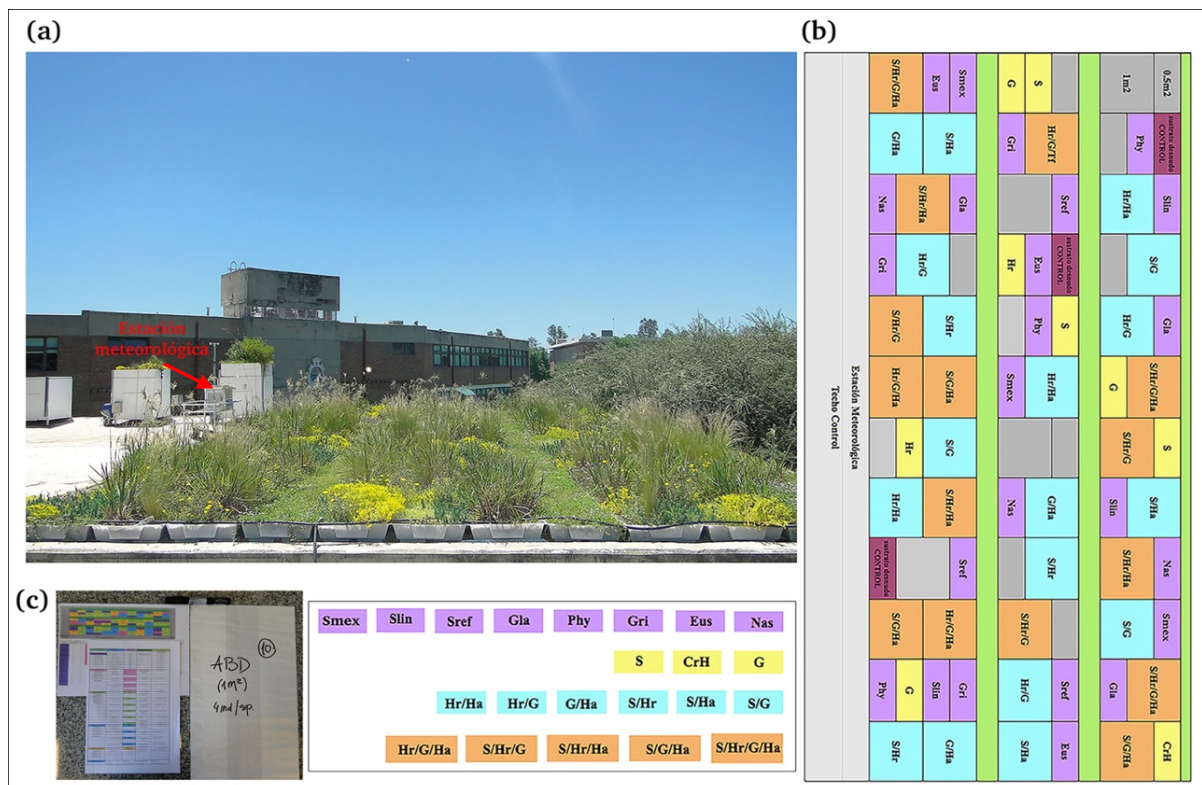
Con el fin de facilitar el acceso a las mediciones, se dejaron pasillos a lo largo del techo. Los mismos fueron implantados con la herbácea rastrera *P. nodiflora* (superficie ocupada: 18 m<sup>2</sup>). Para evitar interferencia en los pasillos y que aquellas especies crecieran dentro de los tratamientos, se realizó un mantenimiento de recorte en los bordes de cada módulo cada 15 días. La superficie remanente del techo (10,5 m<sup>2</sup>) no se consideró dentro del estudio. De estos, 4 m<sup>2</sup> fueron implantadas en combinaciones mixtas con todas las especies y formas de crecimiento, pero se dejaron libres, sin desmalezar (módulos de color gris de 1 m<sup>2</sup>); 5 m<sup>2</sup> fueron plantados con otras tres especies nativas: *Scoparia montevidensis* (Spreng) R.E.Fr., *Hyalis argentea* D. Don ex Hook. y Arn. y *Leymus arenarius* (L.) Hochst, todos representados en rectángulos de módulos de 0,5 m<sup>2</sup> de superficie. Los metros restantes (1,5 m<sup>2</sup>) corresponden a 3 módulos de sustrato sin vegetación (Figura 4.4).

**Tabla 4.1** Diseño experimental. Configuración de microcosmos (n= 22; r= 3) de acuerdo a las ocho especies de cuatro formas de crecimiento. Suculentas: *S. mexicanum*, *S. lineare*, *S. reflexum*; Herbáceas rastreras: *G. x hibr.*, *P. nodiflora*; Herbácea alta: *G. cabreræ*; Gramíneas: *E. distichophylla*, *N. tenuissima*; Código asignado para cada especie en monocultivo y en microcosmos poli específicos de acuerdo a la combinación por y entre formas de crecimiento.

Microcosmos	Código
<b>Monocultivos</b>	
<i>S. mexicanum</i>	Smex
<i>S. lineare</i>	Slin
<i>S. reflexum</i>	Sref

<i>G. x hibr.</i>	Gla
<i>P. nodiflora</i>	Phy
<i>G. cabreræ</i>	Gri*
<i>E. distichophylla</i>	Eus
<i>N. tenuissima</i>	Nas
<b>Combinaciones por forma de crecimiento</b>	
Suculentas: incluye Smex + Slin + Sref	S
Herbáceas rastreras: incluye Gla + Phy	Hr
Gramíneas: incluye Eus + Nas	G
<b>Combinaciones de a 2 formas de crecimiento</b>	
Suculentas / Herbáceas rastreras	S/Hr
Suculentas/Herbácea alta	S/Ha
Suculentas / Gramíneas	S/G
Herbáceas rastreras / Gramíneas	Hr/G
Herbáceas rastreras/ Herbácea alta	Hr/Ha
Herbácea alta/Gramíneas	Ha/G
<b>Combinaciones de a 3 y 4 formas de crecimiento</b>	
Herbáceas rastreras / Herbácea alta/ Gramíneas	Hr/Ha/G
Suculentas / Herbáceas rastreras / Herbácea alta	S/Hr/Ha
Suculenta/Herbáceas rastreras/Gramíneas	S/Hr/G
Suculentas / Herbácea alta /Gramíneas	S/Ha/G
Suculentas / Herbáceas rastreras / Herbácea alta/ Gramíneas	S/Hr/Ha/G

\**G. cabreræ* se denominó **Gri** en monocultivo, y **Ha** (por herbácea alta) en mezcla con las demás especies



**Figura 4.4** (a) Vista general del ensayo de CVE en la Facultad de Arquitectura de la UCC (78 m<sup>2</sup>) (Fecha fotografía: febrero-2019) (b) Distribución de tratamientos (n: 22) del diseño experimental. (c) a la izquierda de la imagen listado y preparación de cada tratamiento, a la derecha de la imagen el color asignado a los 22 tratamientos. Color violeta: asignado a monocultivos (Smex; Slin; Sref; Gla; Phy; Gri; Eus; Nas). Color amarillo: asignado a combinaciones por forma de crecimiento: S; Hr; G. Color celeste: Hr/Ha; Hr/G; Ha/G; S/Hr; S/Ha; S/G. Color naranja: asignado a combinaciones de 3 y 4 formas de crecimiento: Hr/Ha/G; S/Hr/G; S/Hr/Ha; S/Ha/G; S/Hr/Ha/G. Los recuadros de color gris muestran 4 m<sup>2</sup> de módulos implantados con todas las especies y formas de crecimiento evaluadas pero que no fueron consideradas en las mediciones correspondientes; 5 m<sup>2</sup> se plantaron con 3 especies nativas (*S. montevidensis*, *H. argentea* y *L. arenarius* (módulos de 0,5 m<sup>2</sup>); recuadros de color bordo correspondientes a 1,5 m<sup>2</sup> de módulos sin vegetación.

#### 4.4.4 Diversidad Funcional: caracteres foliares de hoja y altura de planta

Para la caracterización funcional de cada especie se midieron 4 caracteres de hoja: área foliar (AF), área foliar específica (AFE), materia seca foliar (MSF), contenido de agua foliar (CAF), y altura vegetativa (HVeg).

El AF es el carácter más común para medir tamaño de hoja, y se define como el área proyectada de una cara de la hoja expresada en mm<sup>2</sup>. El AFE se describe como la relación del AF y la materia seca de las hojas (MSF) (mm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>). Indica cuánta área foliar genera una planta con una determinada cantidad de biomasa. La MSF es el peso seco foliar. Se obtiene luego de secar en

estufa las hojas de la planta, dividido por el peso fresco foliar saturado de agua (g). El MSF se expresa en  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . El CAF es el almacenamiento de agua en hoja. Se calcula como la diferencia entre los valores obtenidos de peso fresco (peso de hoja previo a secar en estufa) y el PS de hoja ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). La HVeg se considera como la distancia entre el límite más alto de los tejidos fotosintéticos principales de la planta (excluyendo las inflorescencias y frutos).

Las mediciones se realizaron a fines de la temporada de crecimiento en febrero 2019. Para la medición de caracteres funcionales de hoja se siguieron los protocolos de las guías de estándares de Pérez Harguindeguy et al. (2016). Se cortaron al azar 15 hojas jóvenes de 5 individuos en los tratamientos en monocultivo de cada especie entre las 9:30 y 11:30h. De acuerdo a la metodología utilizada, se seleccionaron hojas jóvenes y sanas, expandidas y fotosintéticamente activas. Las muestras de hoja se conservaron en bolsas herméticas para evitar la pérdida de agua. Para obtener el peso fresco (PF) de las hojas, las mismas se pesaron en una balanza de precisión Mettler Toledo PB1502-S. Luego de la obtención del peso fresco, las muestras de hojas recolectadas se dispusieron ordenadamente sobre una hoja blanca y se las procesó con un scanner (HP Scanjet 3770) para obtener el AF. Las imágenes se guardaron en formato .tiff con una de resolución 300 dpi para una mejor calidad. Posteriormente, las mismas se analizaron con el programa ImageJ (vs. 1.52a NIH, USA; Rasband, 2018). Se estableció una escala con una regla de 10 cm y se delimitó el área de cada hoja con la herramienta de contraste para luego seleccionar cada área con la herramienta “región de interés” (ROI). Una vez realizados estos pasos, el programa automáticamente proporciona la superficie cubierta de cada hoja. Para obtener la MSF, las mismas hojas fueron colocadas en bolsas de papel madera en estufa a 62 °C durante un período de 72 h. Luego, las mismas se pesaron con la balanza de precisión.

#### **4.4.5 Indicadores de desempeño vegetal**

##### **4.4.5.1 Cobertura vegetal y dinámica de cobertura vegetal por microcosmos**

El porcentaje de  $\text{CVeg}_{\text{Mic}}$  se obtuvo mensualmente desde septiembre 2018 hasta septiembre 2019. Para lo mismo, se tomaron fotografías mensuales en el rango horario de las 18 a 19 hs. Posteriormente, las imágenes fueron analizadas con el programa ImageJ siguiendo la metodología previamente empleada para el análisis de cobertura vegetal en los capítulos anteriores. Con los porcentajes de CVeg mensual se realizaron las curvas de DCVeg (%). Las mismas se graficaron indicando el EE.

Con los valores de porcentajes de CVeg inicial ( $CVeg_{Inicial}$ : septiembre 2018) y CVeg final ( $CVeg_{Final}$ : septiembre 2019) se obtuvo el incremento en el crecimiento (ICr.). El ICr. es una medida para conocer cuanto aumenta la CVeg a partir de la diferencia entre la  $CVeg_{Final}$  menos la  $CVeg_{Inicial}$ .

#### 4.4.5.2 Supervivencia por microcosmos

La  $S_{Mic.}$  se realizó a partir del conteo de la cantidad de individuos vivos de todas las especies al momento de la medición con respecto a la cantidad inicial implantada y se expresó en porcentaje (número total de individuos de todas las especies integrantes del microcosmos = 100 %). La  $S_{Mic.}$  se midió en septiembre 2018, llamado momento inicial (M0); en diciembre 2018, llamado momento 1 (M1); en febrero 2019, llamado momento 2 (M2); en abril 2019, llamado momento 3 (M3); en julio, llamado momento 4 (M4); y en septiembre 2019, llamado momento 5 (M5). Se confeccionó una tabla para presentar los valores de  $S_{Mic.}$ .

#### 4.4.5.3 Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas: selección de microcosmos

Con el objeto de facilitar el orden y sistematización de los datos y a partir de allí poder seleccionar los 22 microcosmos de acuerdo a su desempeño vegetal, se utilizó el índice al que se lo denominó Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas (IDVCV). El mismo se presenta como una herramienta de selección de materiales vegetales con potencial de uso en CVE.

El índice ayuda al mejorador a observar con más claridad cuando se complejiza el número de variables a elegir, como en este caso, las combinaciones a evaluar. El IDVCV se definió a partir de otros índices construidos para seleccionar materiales vegetales nativos con potencial ornamental, propuestos por Chamas y Mathes (2000), Imhof (2013) y Suárez (2020).

Para la construcción de este instrumento de valoración se utilizaron las variables de  $CVeg_{Final}$  ( $CVeg_{Final}$  (%) = septiembre 2019) e incremento en el crecimiento (ICr. (%) =  $CVeg_{Final} - CVeg_{Inicial}$ ) y el coeficiente de variación ( $CVa CVeg_{Final}$ ;  $CVa ICr.$ ) de ambas variables. Estas variables representan lo que se espera como un muy buen desarrollo del material vegetal en una cubierta naturada: que alcance la máxima cobertura en ese espacio, en el menor tiempo posible. No menor, es que en ese período de tiempo ese crecimiento vegetal sea estable, es decir, que no pasen períodos en el año que deje al descubierto el sustrato (por lo que dejaría de prestar los servicios ecosistémicos asociados), sobre todo si esos períodos son muy prolongados. El valor

de CVeg y ICr., expresado en porcentaje, se lo convirtió en un continuo de 0 a 1. Por ejemplo, un valor de 90 % de CVeg se tomó como 0,9. Los valores del CVa de cada variable se dividieron en cuatro categorías (de 0,125 a 0,5), premiando con un mayor valor a los tratamientos que presentaron menor CVa en cada una de las dos variables de respuesta, ya que estos valores se adicionan como un tercer y cuarto término en el índice de desempeño. Para valores de CVa < 0,49 se correspondió el mayor valor asignado y que fue de 0,5; así como para CVa entre 5,00 y 10,99 = 0,375; CVa entre 11,00 y 15,99 = 0,250; y CVa > 16 = 0,125. De esta manera, un microcosmos con menor valor en su CVa tendrá mayor valor en el índice para esta variable. Con la suma de los valores de cada variable por microcosmos, se calculó el índice de la siguiente manera:

$$\text{IDVCV} = \text{CVeg}_{\text{Final}} (0 \text{ a } 1) + \text{ICr.} (0 \text{ a } 1) + \text{CVa CVeg}_{\text{Final}} (0,125 \text{ a } 0,5) \\ + \text{CVa ICr.} (0,125 \text{ a } 0,5)$$

De acuerdo a la fórmula propuesta, el valor máximo del IDVCV sería de 3; en el cual cada una de las variables respuesta (CVeg<sub>Final</sub> e ICr.) puede presentar un valor máximo de 1, y al CVa de cada variable se le asignó un valor máximo de 0,5. Se incluyó el CVa para seleccionar aquellos tratamientos o microcosmos con el mejor desempeño y con la menor variación entre sus réplicas. Se estableció una línea de corte alta, teniendo en cuenta un valor del IDVCV  $\geq 2,8$  para la selección de los mejores microcosmos. Con los valores de índice, se ordenaron los tratamientos (cada combinación en distintos microcosmos) de mayor a menor valor de IDVCV.

#### 4.4.6 Análisis de datos

Para determinar los grupos funcionales de las ocho especies estudiadas se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Conglomerados o Análisis *Clúster* (AC), utilizando los cinco caracteres funcionales (AF, AFE, MSF, CAF, y HVeg). Para mejorar los supuestos se transformaron las variables, utilizando la función logarítmica para AF, AFE, y HVeg, y para MSF y CAF se utilizó la función raíz cuadrada. El AC se utilizó como complementario al ACP. Este análisis incluyó una matriz de distancia basada en la distancia Ward. El coeficiente de correlación determinó la consistencia entre las matrices de datos y dendrograma resultante. Para determinar los grupos funcionales mediante el ACP, se siguió la metodología propuesta por Casanoves et al. (2011), Lundholm et al. (2014) y Guo et al. (2021).

Se realizó un análisis de Kaplan-Meier para graficar los cambios en la supervivencia de individuos de cada especie en los microcosmos. Se utilizó un test log-Rank para evaluar las diferencias en la supervivencia de las especies entre los tratamientos. La escala de tiempo empleada en este análisis se determinó realizando un conteo desde el inicio del experimento en septiembre de 2018, día 0, hasta el fin del experimento en septiembre de 2019, día 360. Los individuos vivos se codificaron con un valor de 1, mientras que los individuos muertos con un valor de 2. El conjunto de datos fue importado a R y se analizó utilizando los paquetes Survival y Surminer (Software R Studio, R Development Core Team, 2019).

Para graficar la dinámica de la cobertura vegetal (% DCVeg) se realizaron perfiles multivariados con los porcentajes de cobertura media mensual y su error estándar (Suárez, 2020; Chell et al., 2022). Se realizó test de Kruskal Wallis para evaluar las diferencias en el incremento en el crecimiento (ICr.) de los diferentes microcosmos. Se realizaron gráficos de caja para el ICr. de cada microcosmos. Tanto los gráficos como el análisis se llevaron a cabo con la herramienta estadística InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Para evaluar la relación entre los diferentes niveles de atributos de biodiversidad (en composición, en estructura y funcional) entre los tratamientos se llevó a cabo un modelo de regresión múltiple. Se utilizó el Software R Studio (Development Core Team, 2019) y el paquete MuMIn (Multi-Model Interference) para determinar el modelo. Se comparó el número de especies (riqueza) y los grupos funcionales (determinados por el ACP y AC) con las variables de desempeño (supervivencia y cobertura vegetal) hacia el final de la temporada de crecimiento (febrero 2019) y hacia el final del periodo de estudio (septiembre 2019).

## **4.5 Resultados**

### **4.5.1 Caracterización por grupos funcionales**

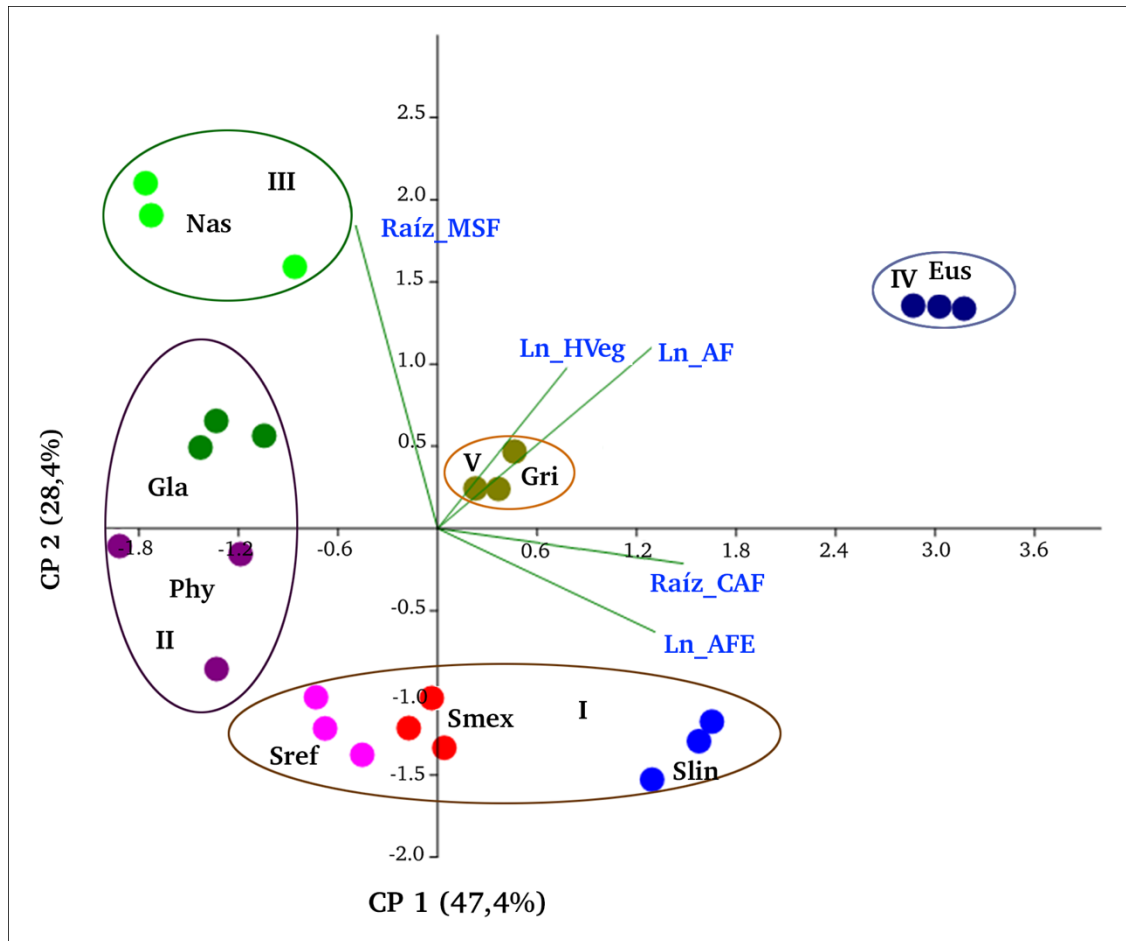
Las ocho especies fueron caracterizadas de acuerdo a caracteres de hoja y altura de planta (AF, AFE, MSF, CAF y HVeg) hacia el final del primer período de crecimiento en febrero 2019). A partir de la Tabla 4.2 se puede describir los valores medios obtenidos para cada uno de los caracteres de las especies. La gramínea *E. distichophylla* fue la especie con mayor tamaño de AF, mientras que la suculenta *S. reflexum* el menor. Para el AFE, *S. lineare* tuvo el valor más alto y *N. tenuissima* el más bajo. Respecto al MSF las nativas mostraron valores mayores en comparación con las especies de forma de crecimiento suculenta (*Sedum* sp.). Las dos especies

de gramíneas (*E. distichophylla* y *N. tenuissima*), la herbácea alta *G. cabreræ* y la suculenta *S. lineare*, mostraron mayor altura con respecto a las demás especies.

**Tabla 4.2** Valores de los caracteres funcionales de las especies evaluadas y su error estándar. **AF:** área foliar; **AFE:** área foliar específica; **MSF:** materia seca foliar; **CAF:** contenido de agua foliar; **HVeg:** altura vegetativa.

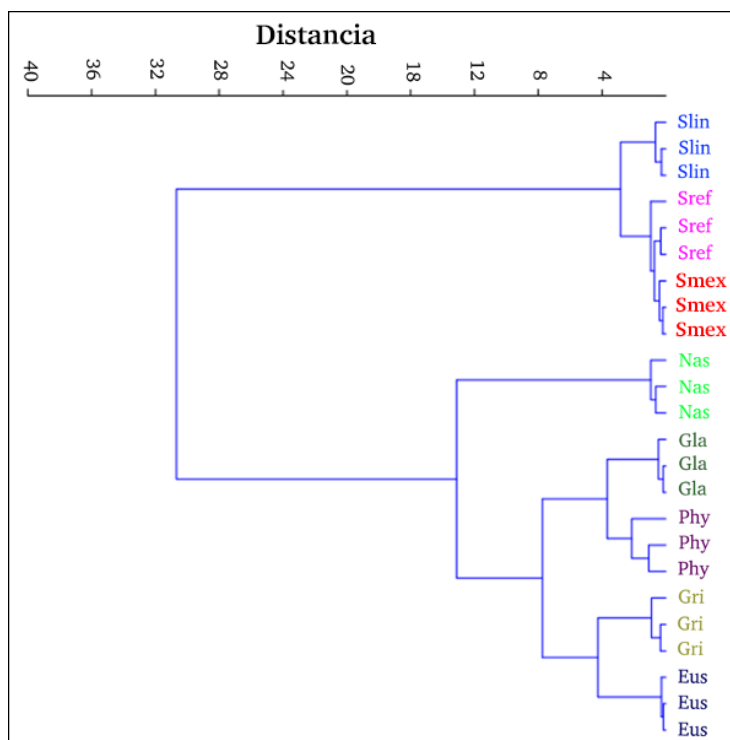
Especies	AF (mm <sup>2</sup> )	AFE (mm <sup>2</sup> .mg <sup>-1</sup> )	MSF (mg.g <sup>-1</sup> )	CAF (g.g <sup>-1</sup> )	HVeg (m)
<i>S. mexicanum</i>	46,5 ± 3,7	0,68 ± 0,12	70 ± 3,1	0,93 ± 0,20	0,16 ± 0,02
<i>S. lineare</i>	86,4 ± 15,5	1,36 ± 0,05	49,7 ± 5,5	1,22 ± 0,15	0,23 ± 0,03
<i>S. reflexum</i>	31,7 ± 1,1	0,56 ± 0,12	71,9 ± 7	0,75 ± 0,12	0,15 ± 0,02
<i>G. x hibr.</i>	60,2 ± 14,1	0,57 ± 0,06	407,5 ± 7,2	0,15 ± 0,04	0,16 ± 0,02
<i>P. nodiflora</i>	81,0 ± 15,2	0,59 ± 0,15	331,1 ± 52,9	0,28 ± 0,05	0,05 ± 0,01
<i>G. cabreræ</i>	114,4 ± 13,9	1,01 ± 0,09	267,9 ± 20,5	0,31 ± 0,03	0,25 ± 0,04
<i>E. distichophylla</i>	1577,2 ± 150,4	1,00 ± 0,08	328,7 ± 5,5	3,21 ± 0,22	0,30 ± 0,01
<i>N. tenuissima</i>	67,6 ± 16,8	0,45 ± 0,19	618,2 ± 22,4	0,10 ± 0,02	0,35 ± 0,07

Los dos primeros ejes del ACP explicaron el 75,8 % de la varianza total (Figura 4.5). Los ejes se proyectaron en un plano bidimensional para observar las relaciones entre las diferentes muestras de las especies y las variables respuestas en su agrupamiento. La componente principal 1 (CP 1) explicó un 47,4 % de la varianza total y los caracteres con mayor relación fueron Raíz\_CAF (Eigenvector= 0,58); Ln\_AFE (Eigenvector= 0,52); Ln\_AF (Eigenvector= 0,51) y Ln\_hv (Eigenvector= 0,30). La componente principal 2 (CP 2) explicó un 28,04 % de la varianza total y las variables que mostraron mayor relación fueron raíz cuadrada\_MSF (Eigenvector= 0,77); Ln\_AF (Eigenvector= 0,43) y Ln\_HVeg (Eigenvector= 0,38). De acuerdo a los dos primeros ejes se determinaron cinco grupos funcionales: (I) determinado por las especies suculentas (*S. mexicanum*: Smex; *S. lineare*: Slin; *S. reflexum*: Sref), ubicadas en el primer cuadrante; (II) muestras de *G.* x híbr. (Gla) y *P. nodiflora* (Phy) agrupadas en el cuadrante izquierdo superior e inferior; (III) muestras de *N. tenuissima* (Nas) localizadas en el cuadrante superior izquierdo; (IV) muestras de *E. distichophylla* (Eus) localizadas en el cuadrante superior derecho; y (V) muestras de *G. cabreræ* (Gri) agrupadas en el cuadrante superior derecho del gráfico. De esta manera, el primer grupo funcional se definió para las suculentas, el segundo grupo se definió para las herbáceas, y los tres grupos restantes se definieron con las gramíneas y la herbácea alta. Es importante resaltar que aunque presentan la misma forma de crecimiento, éstas gramíneas no se corresponden al mismo grupo funcional, siendo el AF un carácter que las separa.



**Figura 4.5** Análisis de Componentes Principales de las ocho especies estudiadas, mostrando los cinco grupos funcionales definidos a partir de cinco caracteres funcionales de las especies. La varianza total se explicó con un 75,8 % (47,40 % y 28,04 % para CP 1 y CP 2 respectivamente). Los grupos se muestran en círculos de colores numerados y las muestras de cada especie se muestran en diferentes puntos de colores. I= Smex + Slin + Sref; II= Gla + Phy; III= Nas; IV= Eus; V= Gri. Caracteres funcionales en letras de color azul: Raíz\_MSF: Raíz cuadrada de Materia seca foliar; Ln\_AFE: logaritmo natural de Área foliar específica; Ln\_AF: logaritmo natural de Área foliar; Raíz\_CAF: raíz cuadrada de Contenido de agua foliar; Ln\_HVeg: logaritmo natural de Altura vegetativa.

El dendrograma obtenido del AC mostró un patrón de agrupamiento similar al del ACP. Las especies Eus y Gri no se separaron en el AC (correlación cofenética: 0,89) (Figura 4.6).



**Figura 4. 6** Dendrograma obtenido del AC de las especies analizadas: Smex; Slin; Sref; Gla; Phy; Gri; Eus; Nas.

#### 4.5.2 Desempeño por supervivencia

En la Tabla 4.3 se detalla la  $S_{Mic}$  en los seis momentos evaluados. Se observó que después de un año de evaluación, la supervivencia final (M5) fue  $> 85\%$  en todos los microcosmos, independientemente si estuvieron en monocultivo o combinadas 1 o  $> 2$  formas de crecimiento.

**Tabla 4.3** Supervivencia por microcosmos desde septiembre 2018 a septiembre 2019.

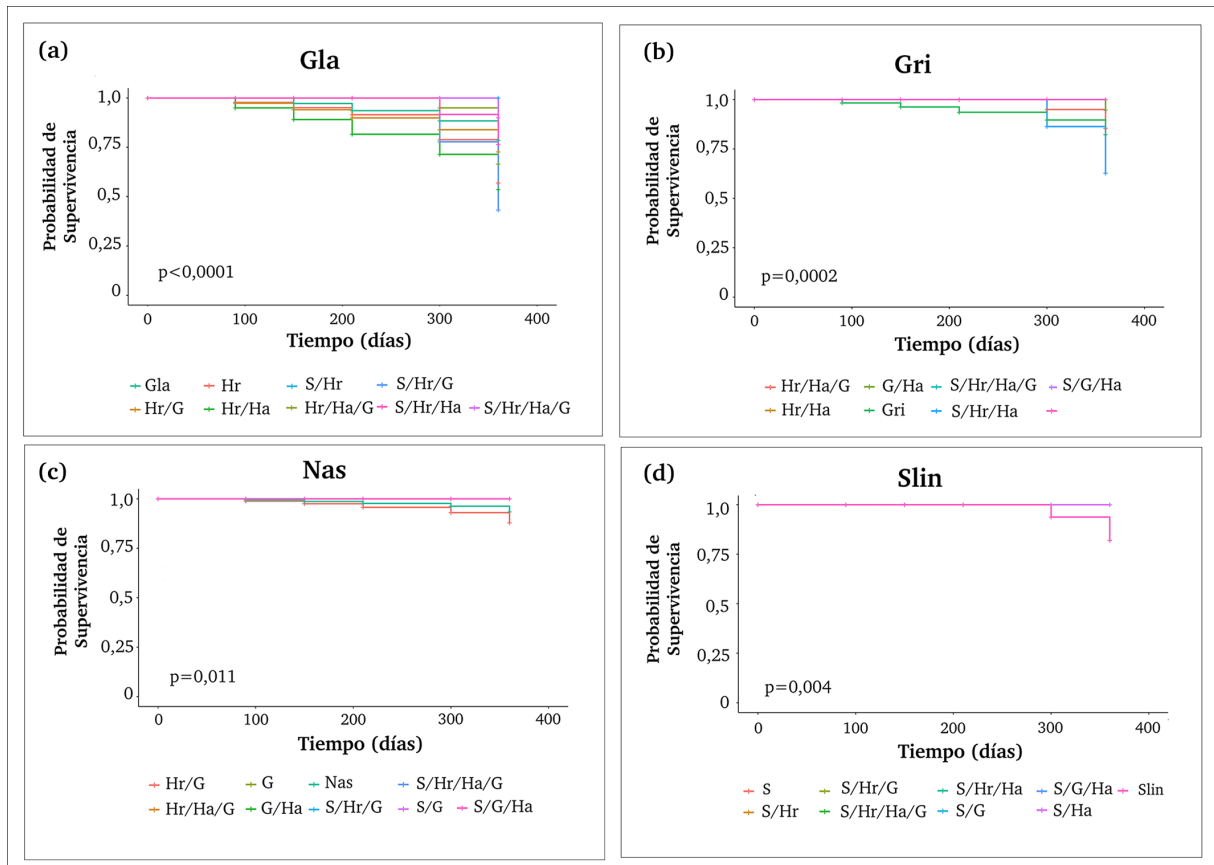
Microcosmos	M0	M1	M2	M3	M4	M5
	sep-18	dic-18	feb-19	abr-19	jul-19	sep-19
Eus	100	100	100	100	100	100
G	100	100	100	100	100	100
Ha/G	100	100	100	100	100	97,8
Gla	100	100	93,3	93,3	93,3	93,3
Gri = Ha	100	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
Hr	100	94,4	94,4	94,4	86,1	86,1
Hr/G	100	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8
Hr/Ha/G	100	100	100	100	96,4	92,8
Hr/Ha	100	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9
Nas	100	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
Phy	100	100	100	100	100	100
S	100	100	100	100	100	100
S/G	100	100	100	100	100	100

---

S/Ha/G	100	100	100	100	100	100
S/Ha	100	100	100	100	100	100
S/Hr	100	100	100	100	100	100
S/Hr/G	100	100	100	100	92,9	92,9
S/Hr/Ha/G	100	100	100	100	100	98,6
S/Hr/Ha	100	100	100	100	92,6	92,6
Slin	100	100	100	100	91,7	91,7
Smex	100	100	100	100	100	100
Sref	100	100	100	100	100	100

---

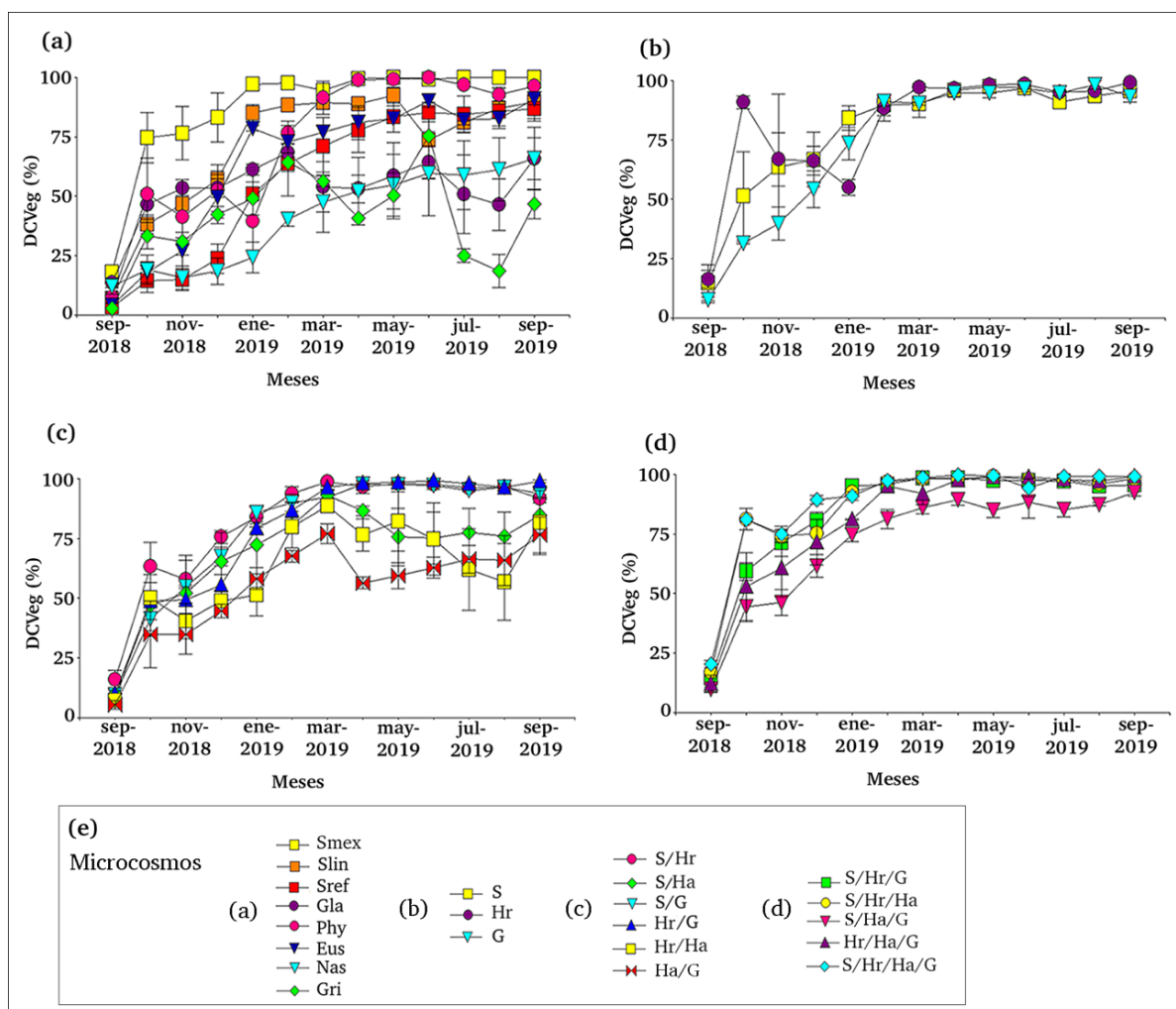
Las cuatro especies que mostraron mortalidad fueron *G. x hibr.*, *G. cabreræ*, *N. tenuissima* y *S. lineare*. El test log-Rank mostró diferencias significativas ( $p= 0,05$ ) en la supervivencia de las especies entre los tratamientos de monocultivos a microcosmos combinados: *G. x hibr.* ( $p=0,0001$ ); *G. cabreræ* ( $p= 0,0002$ ); *N. tenuissima* ( $p= 0,011$ ); y *S. lineare* ( $p= 0,004$ ). Se graficaron curvas de Kaplan-Meier para cada una de las especies que mostraron mortalidad en los diferentes tratamientos en que formaban parte (Figura 4.7). La especie que sufrió menor mortalidad a lo largo de la evaluación fue *S. lineare* entre los microcosmos. Sin embargo, se observó que su supervivencia fue menor en monocultivo (Figura 4.7 d).



**Figura 4.7** Análisis de supervivencia Kaplan-Meier para las cuatro especies que mostraron mortalidad (a) curvas de supervivencia para los microcosmos que incluyen a *G. x* híbr.. (b) curvas de supervivencia para los microcosmos que incluyen *G. cabreræ* (c) curvas de supervivencia para los microcosmos que incluyen *N. tenuissima* (d) curvas de supervivencia para los microcosmos que incluyen *S. lineare*. Las líneas de colores indican los diferentes microcosmos que incluyen cada especie que mostró cambios en su dinámica de supervivencia.

#### 4.5.3 Desempeño por cobertura vegetal

La Figura 4.8 muestra la dinámica de cobertura con los valores del % CVeg mensual desde septiembre 2018 hasta septiembre 2019. Cuatro de los 22 microcosmos (Smex, Hr, S/Hr/Ha, y S/Hr/Ha/G) mostraron un rápido crecimiento posterior (30 días) al trasplante (CVeg > 65 %). Los restantes (18 de 22) alcanzaron un % CVeg inicial que varió de 14 a 63 % durante el primer mes.



**Figura 4.8** Dinámica de cobertura vegetal (DCVeg, %) para cada uno de los microcosmos ( $n=22$ ;  $r:3$ ) desde septiembre 2018 hasta septiembre 2019 (a) DCVeg para monocultivos (b) DCVeg para microcosmos combinados por forma de crecimiento (c) DCVeg para microcosmos combinados de a 2 formas de crecimiento (d) DCVeg para microcosmos combinados de a 3 y 4 formas de crecimiento. Las barras muestran el error estándar para cada microcosmos (e) Referencia de los microcosmos de cada gráfico (a, b, c, y d; respectivamente).

En septiembre de 2019 (luego de un ciclo anual de evaluación), cinco monocultivos y trece de los catorce microcosmos combinados lograron una  $CVeg_{Final} > 95\%$ . Mientras que, sólo cuatro microcosmos tuvieron una  $CVeg_{Final} < 79\%$ . En la Tabla 4.4 se listan los mejores con una  $CVeg > 95\%$ , y los de menor  $CVeg$ .

**Tabla 4.4** Resumen comparativo de la CVeg<sub>Final</sub> de microcosmos representativos con CVeg > 95 % (columna derecha) y microcosmos con CVeg<sub>Final</sub> < 79 %.

Microcosmos CVeg <sub>Final</sub> > 95 % ± EE	Microcosmos CVeg <sub>Final</sub> < 79 %
Sacr = 100 ± 0,0	Ha = 46,8 ± 6,2
Hr/Ha/G= 99,3 ± 0,2	Nas= 66 ± 13,2
S/Hr/Ha/G= 99,2 ± 0,2	Gla= 66 ± 8,8
Hr/G= 99,1 ± 0,6	Ha/G= 76,5 ± 7,6
Hr= 99 ± 0,6	
S/Hr/Ha= 98,1 ± 0,7	
Phy= 96,5 ± 0,8	
S/Hr/G= 95,7 ± 2,1	
S= 95,5 ± 2,2	

En Anexo IV se adjuntan las Figuras Suplementarias 4.1 (a-d) donde se muestran fotografías de la vista desde arriba en plano horizontal del cambio de cobertura en cuatro momentos de los microcosmos en monocultivo, por combinación de a 1 forma de crecimiento, de a 2 formas de crecimiento, y de 3 y 4 formas de crecimiento respectivamente.

#### 4.5.4 Relación entre atributos de diversidad (composición; estructura; grupos funcionales) y desempeño vegetal

En la Tabla 4.5 se muestran los resultados del análisis de regresión lineal múltiple. No se encontraron relaciones significativas al incrementar los niveles en los atributos de biodiversidad entre los microcosmos con respecto a las variables respuestas de supervivencia y cobertura.

**Tabla 4.5** Relación de atributos de diversidad. Análisis de regresión lineal múltiple. Variables respuesta e independientes empleadas para análisis de regresión lineal múltiple. **X<sub>1</sub>**: número de especies; **X<sub>2</sub>**: Grupos funcionales por microcosmos; **Y<sub>1</sub>**: CVeg febrero- 2019; **Y<sub>2</sub>**: CVeg<sub>Final</sub>: septiembre 2019; **Y<sub>3</sub>**: % S febrero 2019; **Y<sub>4</sub>**: % S septiembre 2019.

Variables Respuesta	Variables independientes	p-valor	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
% CVeg febrero 2019	Riqueza (i.e., número de especies)	0,011 7	0, 37	0,31
% CVeg <sub>Final</sub> septiembre 2019	Nivel funcional (i.e., grupos funcionales)	0,109 7	0, 21	0,12
% S febrero 2019		0,022 7	0, 14	0,05
% S <sub>Final</sub> septiembre 2019		0,747 5	0, 03	0,05

#### 4.5.5 Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas. Selección de microcosmos

La Tabla 4.6 muestra el ordenamiento de los microcosmos de mayor a menor valor del IDVCV. Seis microcosmos fueron seleccionados como los mejores alcanzando un valor de  $IDVCV \geq 2,8$  (Hr/G; Phy; Smex; G; S/Hr/Ha/G; S/Hr/Ha). La  $CV_{vegFinal}$  y el ICr. de los seis tratamientos lograron valores mayores 93 %  $CV_{vegFinal}$  y 81 % ICr., respectivamente. Algunos de los microcosmos restantes mostraron valores comparables en ambas variables (%  $CV_{vegFinal}$ ; % ICr.). Sin embargo, su coeficiente de variación fue mayor ( $CVa=$  entre 5,0 y 10,9, respectivamente), y obtuvieron un índice de desempeño 2,7. El menor valor de IDVCV ( $< 2,0$ ) fue para la combinación de las herbáceas rastreras y la herbácea alta (Hr/Ha) y los tres tratamientos de monocultivos Gla, Gri y Nas.

**Tabla 4.6** Ranking de desempeño de acuerdo al Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas (IDVCV) para los microcosmos evaluados ( $n=22$ ; réplicas= 3).  $CV_{vegFinal}$ ; ICr. (%  $CV_{vegFinal}$ - %  $CV_{vegInicial}$ ).  $CVa CV_{veg}$ : coeficiente de variación  $CV_{vegFinal}$ ;  $CVa ICr.$ : coeficiente de variación ICr. Valores de  $CVa$ : 0 – 4,99= valor de índice 0,5;  $CVa$  entre 5,0 y 10,9 = valor en el índice: 0,375; valores de  $CVa=$  entre 11 y 15,99 : valor de índice= 0,250; valor de  $CVa >16$  valor de índice de 0,125.

Microcosmos ( $n=22$ ; $r=3$ )	$CV_{vegFinal}$	$CVa$ $CV_{vegFinal}$	ICr.	$CVa$ ICr.	Ranking IDVCV
<b>Hr/G</b>	0,9901	0,5	0,8887	0,5	<b>2,9</b>
<b>Phy</b>	0,9649	0,5	0,891	0,5	<b>2,9</b>
<b>Smex</b>	1,000	0,5	0,8197	0,5	<b>2,8</b>
<b>G</b>	0,9327	0,5	0,856	0,5	<b>2,8</b>
<b>S/Hr/Ha/G</b>	0,992	0,5	0,7873	0,5	<b>2,8</b>
<b>S/Hr/G</b>	0,9573	0,5	0,812	0,5	<b>2,8</b>
Hr/Ha/G	0,9932	0,5	0,8717	0,375	2,7
Hr	0,9933	0,5	0,8293	0,375	2,7
S/Hr/Ha	0,9809	0,5	0,8103	0,375	2,7
S/G	0,9371	0,5	0,8423	0,375	2,7
Eus	0,9093	0,5	0,8673	0,375	2,7
S	0,9552	0,5	0,8067	0,375	2,6
S/Ha/G	0,9258	0,5	0,828	0,375	2,6
S/Hr	0,9167	0,5	0,7563	0,375	2,5
Sref	0,8695	0,375	0,8357	0,375	2,5

Slin	0,8976	0,250	0,8267	0,125	2,1
S/Ha	0,8474	0,250	0,7467	0,250	2,1
Ha/G	0,7652	0,250	0,7113	0,250	2,0
Hr/Ha	0,8177	0,125	0,7457	0,125	1,8
Nas	0,6596	0,125	0,538	0,125	1,4
Gla	0,6591	0,125	0,5213	0,125	1,4
Gri	0,4684	0,125	0,4405	0,125	1,2

## 4.6 Discusión

### 4.6.1 Nivel funcional

La diversidad de plantas en términos de composición y estructura ha sido asociada a una mejora en los servicios ecosistémicos provistos (Díaz et al., 2007; Lundholm et al., 2010). Es importante sumar a esta consideración no sólo el número de especies y la diversidad de formas de crecimiento sino también la diversidad de caracteres funcionales de las plantas, ya que determinan gran cantidad de procesos ecosistémicos (Cook-Patton y Bauerle, 2012; Lundholm et al., 2015; Xie et al., 2018). Además, niveles más altos de diversidad funcional resultan en mayor complementariedad en el uso de recursos entre las especies de una comunidad (Mouchet et al., 2010). Lundholm (2015a) encontró que especies diferentes optimizan distintas funciones (i.e., enfriamiento, absorción de nutrientes, retención del agua de lluvia), por lo que la multifuncionalidad en las CV se ve aumentada en combinaciones mixtas, con especies que maximicen las funciones. Para conocer como una comunidad vegetal puede ser diversificada y aumentar los procesos que determinan mayores servicios ecosistémicos, el agrupamiento de las especies por grupos funcionales es una herramienta útil para elegir especies funcionalmente similares o diferentes (Hector y Bagchi, 2007; Lundholm et al., 2010). Los caracteres morfológicos de hoja y la altura de planta han sido empleados como indicadores para la selección de especies vegetales en ecosistemas construidos y han demostrado consistencia en la predicción de numerosas funciones ecosistémicas en CV localizadas en diferentes regiones, desde climas húmedos hasta áridos y semiáridos (Van Mechelen et al., 2014a; Farrell et al., 2012; 2013; Rayner et al., 2016; Guo et al., 2021). Las ocho especies evaluadas aquí, determinaron cinco grupos funcionales. Las especies *G. cabreræ*, *N. tenuissima* y *E. distichophylla* mostraron valores similares de altura media. La incorporación de plantas con porte mayor puede ser una estrategia para optimizar algunas funciones del sistema CV. Por ejemplo, plantas de follaje más alto mantienen el aislamiento de la masa de aire que se genera

entre el sustrato y el follaje (Theodosiou, 2003), reduciendo la temperatura del sustrato (Sailor, 2008). Esto puede contribuir a reducir las elevadas temperaturas que el sustrato puede alcanzar en verano y las tasas de evapotranspiración (MacIvor y Lundholm, 2011; Lundholm y Williams, 2015). A su vez, esto facilita que plantas de hábito rastrero o especies más bajas como *P. nodiflora* o *G. x hibr.*, sufran menos estrés y se expandan en superficie (Vasl y Heim, 2016). Una mayor altura vegetal también está relacionada con una mayor intercepción del agua de lluvia, retrasando su caída y la magnitud del impacto sobre el sustrato, evitando la erosión del mismo (Lundholm y Williams, 2015). La especie *E. distichophylla*, se diferenció del resto de las especies y formó un grupo funcional aparte caracterizado principalmente por el área foliar (AF). Este carácter también se asocia al efecto de sombreo, con una mayor productividad y tasas de transpiración, características que también interviene en el servicio ecosistémico de enfriamiento (Lundholm y Williams, 2015). El tamaño de las hojas se relaciona con la variabilidad ambiental (climática, edáfica, hídrica) que determinan estrategias ecológicas, siendo las plantas de hojas más pequeñas como *P. nodiflora* o *Glandularia* sp. o especies suculentas, las cuales se adaptan plantas a condiciones de estrés o suelos pobres en nutrientes (Pérez-Harguindeguy et al., 2016).

La determinación de los grupos funcionales permitió separar a las gramíneas *E. distichophylla* y *N. tenuissima* en dos grupos diferentes. Lundholm et al. (2015) explica que dentro de una misma forma de crecimiento puede existir variación considerable en los caracteres de las especies, lo cual sugiere seleccionar especies para CVE por sus caracteres funcionales más que por su forma de crecimiento. La materia seca foliar (MSF) de las plantas está relacionado a una mayor productividad y a la vida útil de la hoja, asumiendo que especies con mayor MSF pueden mostrar menor vulnerabilidad a daños físicos como la herbivoría (Pérez-Harguindeguy et al., 2016). En los resultados presentados todas las especies nativas tuvieron mayor MSF con respecto a las suculentas; sin embargo, este tipo de daño se observó solo en *S. reflexum*. Otros estudios son necesarios para determinar el tipo de relación entre la herbivoría y los caracteres de las especies. En cuanto al CAF (contenido de agua foliar), este es un carácter relacionado a la succulencia de las hojas (Pérez-Harguindeguy et al., 2016). Como era de esperar, las tres especies suculentas evaluadas tuvieron mayor contenido de agua con respecto a las especies nativas. Frecuentemente este carácter es empleado como un indicador de selección de especies para CV en regiones áridas y semiáridas dado que está relacionado a la supervivencia de las plantas en condiciones extremas (Farrell et al., 2012; Razzaghmanesh et al., 2014b; Rayner et

al., 2016). Sin embargo, un estudio reciente no encontró una relación positiva entre el grado de succulencia y la supervivencia de una mezcla de especies herbáceas, sub-arbustos y arbustos (Guo et al., 2021). *G. x hibr.*, *G. cabreræ* y *N. tenuissima* tuvieron los mayores porcentajes de mortalidad, mientras que *P. nodiflora* y *E. distichophylla* no sufrieron pérdida en la cantidad de individuos durante los doce meses evaluados. Según Szota et al. (2017) y Du et al. (2018), estas diferencias pueden estar relacionados a que las primeras tengan tasas de evapotranspiración mayor.

#### 4.6.2 Desempeño vegetal

Las CV con sustratos poco profundos aumentan la posibilidad de estrés hídrico y la exposición al calor, por lo tanto, afectan tanto a la parte aérea de la planta como a su sistema radicular (Walker y Lundholm, 2018). En un estudio reciente donde se evaluaron plantas anuales, de un clima subtropical en Australia, se encontró que el área foliar y la altura de las mismas se veía afectada cuando se disminuye la frecuencia de irrigación tanto en monocultivo como en mezclas de especies, pero no así su cobertura (Saraeian et al., 2022). Al mismo tiempo, en una CVE instalada en un clima mediterráneo mostró una reducción del área foliar en especies perennes cuando el agua no se encuentra disponible para la vegetación (Azeñas et al., 2019). Estas condiciones se ven acentuadas aún más en una región árida y/o semiárida, por lo que la incorporación de un sistema de riego garantiza un buen establecimiento inicial, estimula el desarrollo y crecimiento vegetal (Dvorak y Volder, 2013; Razzaghmanesh et al., 2014a).

En condiciones climáticas similares a las de Córdoba, Razzaghmanesh et al. (2014a) demostraron que sistemas de CVE bajo riego alcanzaron una supervivencia del 80%, en tanto la condición de secano no favorece a la supervivencia de las plantas Benvenuti y Bacci (2010) quienes evaluaron la capacidad de algunas especies de sobrevivir en condiciones sin riego, en sus resultados también reforzaron la necesidad de un aporte hídrico ante condiciones con marcada estacionalidad climática como las de Córdoba. En los resultados presentados, la supervivencia fue superior al 80 % en todos los microcosmos, siendo las especies que presentaron mayor mortalidad de individuos *G. x hibr.* y *G. cabreræ*, *N. tenuissima* y *S. lineare*. Si bien el desempeño individual de las especies en los microcosmos no se ha cuantificado, se observaron especies más dominantes (mayor cobertura) que otras. En este sentido, se ha observado en los monocultivos (especies combinadas por igual forma de crecimiento), que

alcanzaron una meseta en la cobertura vegetal hacia el final del primer período de crecimiento (febrero 2019).

Las herbáceas rastreras ocuparon rápidamente la superficie del módulo de CVE (90,8 %) en octubre 2018, es decir, a 30 días desde la implantación. Este excelente desempeño se debió principalmente al crecimiento de *P. nodiflora* con respecto al híbrido de *Glandularia*. Especies emparentadas filogenéticamente, pertenecientes a la misma familia botánica (Verbenaceae), compiten por el espacio, lo que hace que su coexistencia sea más desbalanceada (Nagase y Dunnett, 2010; Burns y Strauss, 2011; Cadotte, 2013). Se ha demostrado que ensambles de especies que difieran en su diversidad funcional y filogenética alcanzan un desempeño más favorable comparado a especies emparentadas (i.e., igual grupo taxonómico) (Nagase y Dunnett, 2010). La gran habilidad de *P. nodiflora* para reproducirse por estolones y su capacidad de rebrote luego de un evento desfavorable, le brinda ventajas adaptativas (Sosa et al., 2017) lo que le permite ocupar espacios vacíos rápidamente (Vasl y Heim, 2016). En los microcosmos de suculentas y gramíneas, no se registraron pérdidas de individuos, lo cual puede indicar alguna interacción positiva, como complementariedad de nicho (Heim y Lundholm, 2014).

Los mejores monocultivos de *S. mexicanum*; *P. nodiflora* y *E. distichophylla* mostraron un desempeño comparable a los mejores microcosmos combinados, más complejos en términos de composición, estructura y grupos funcionales (2 > especies; 2 > formas de crecimiento; 2 > grupos funcionales). Gioannini et al. (2018) sugieren sectorizar partes de la CV cuando el desempeño en monocultivo y en mezclas de especies es similar. Sin embargo, aquellos más diversos tienen mayor probabilidad de coexistir en el tiempo (Cook-Patton, 2015). Se observó que en aquellos microcosmos combinados con suculentas, la supervivencia de *G. x hybr.* o *G. cabrerae* no disminuyó. Algunos estudios han demostrado que el desempeño de especies menos tolerantes aumenta cuando están en presencia de suculentas (Butler y Orians, 2011). Así, esta forma de crecimiento funciona como plantas nodrizas, ya que a través de mecanismos de facilitación promueven el desempeño de otras especies (Cardinale et al., 2002).

Las suculentas al consumir menor cantidad de agua, el recurso queda disponible para las especies menos estrés tolerantes, colaborando en mantener una temperatura de sustrato más frío con respecto a un sustrato desnudo (Yeaton y Cody, 1976 cita de Nagase y Dunnett, 2010; Heim y Lundholm, 2014). También se observó una interacción positiva al combinar las gramíneas

con las herbáceas rastreras y con la herbácea alta *G. cabreræ*. Por otro lado, si bien el tratamiento mixto de herbáceas (Hr/Ha) tuvo mejor cobertura vegetal con respecto a los monocultivos, gran parte de la superficie base estuvo ocupada por *P. nodiflora*. Incorporar tanto a *G. x* híbr. como *G. cabreræ* en combinaciones favorece la atracción de polinizadores debido su prolongada y llamativa floración (> a 6 meses), sumando la aceptación pública del uso de plantas nativas en diseños urbanos (Torres y Galetto, 2002; Nagase et al., 2017; Imhof et al., 2019; Drewniak et al., 2020).

Los monocultivos de *S. mexicanum*, *S. lineare*, *S. reflexum*, *P. nodiflora* y *E. distichophylla* lograron una cobertura vegetal tan alta como en los microcosmos más complejos (2 > especies, 2 > formas de crecimiento, 2 > grupos funcionales). Como se mencionó en el Capítulo 3 (Sección VER), se propusieron dos mecanismos han sido propuestos que explicar la interacción positiva entre las especies cuando su rendimiento presenta ventajas en las combinaciones. Uno puede deberse a que las mismas contienen los mejores monocultivos y otro debido al rendimiento de todas las especies en conjunto (Cadotte, 2013; Lundholm et al., 2010; Lundholm, 2015). En estudios de producción de biomasa, la ventaja de mezclas de especies se denomina rendimiento transgresivo (Schmid et al., 2008; Lundholm, 2015).

El IDVCV nos permitió seleccionar aquellos tratamientos con menor variación en términos de cobertura vegetal e incremento en el crecimiento de las especies en monocultivo y en combinaciones más complejas. El empleo de este tipo de índices depende de los objetivos del estudio y han sido ampliamente utilizados para caracterizar, evaluar y seleccionar material vegetal en programas de mejoramiento genético (Stumpf et al., 2007). Por ejemplo, Chamas y Mattes (2000) desarrollaron un índice para seleccionar plantas tropicales con propósitos de interés paisajístico. A nivel local, Imhof (2013) adaptó este índice para seleccionar por ranking híbridos de *Glandularia* de acuerdo al número de inflorescencias, número de ramificaciones y capacidad de cobertura para su uso en macetas y canteros de bajo mantenimiento. Suárez (2020) empleó el índice para evaluar el potencial del desempeño de los mismos híbridos de esta especie para su uso en CV semi intensivas teniendo en cuenta la supervivencia, la cobertura vegetal y el estado sanitario. En este estudio, 3 de los 8 monocultivos, fueron seleccionados por encima de la línea de corte establecida del IDVCV y presentaron tan buen desempeño como los microcosmos combinados.

Múltiples estudios han mostrado que particularmente las especies de *Sedum* superan el desempeño de especies nativas en CVE localizadas en regiones áridas (Monterusso et al., 2005; Rowe et al., 2006; VanWoert et al., 2005). De acuerdo al IDVCV, sólo *S. mexicanum* logró valores comparables de índice con respecto a la combinación de herbáceas rastreras y gramíneas; gramíneas; suculentas; herbáceas rastreras; herbácea alta, gramíneas y suculenta; herbáceas rastreras y gramíneas. Incluso el microcosmos sólo de especies nativas, herbáceas rastreras, herbácea alta y gramíneas, logró valores muy similares (99,32 %) al compuesto solo por suculentas (95,52 %). Este excelente desempeño sugiere que las especies nativas evaluadas aquí presentan un potencial promisorio para su recomendación de uso en sistemas de bajo mantenimiento de CVE localizadas en la región del centro de Argentina. Esto se ha demostrado en un estudio reciente, en donde se evaluó el desempeño de este mismo conjunto de especies y formas de crecimiento, en condiciones reales de CVE ubicada en el centro de la ciudad de Córdoba en el edificio Municipal “Palacio 6 de julio”. Las especies se evaluaron en combinaciones poli específicas de 1 a 4 formas de crecimiento por un período de un año, logrando una supervivencia y una cobertura vegetal promedio mayores al 90 y al 60 % respectivamente (Robbiati et al., 2022). Las combinaciones con mayores atributos de diversidad tuvieron el mejor desempeño, con *S. mexicanum* y *E. distichophylla* como especies nuevamente dominantes en este sistema (Robbiati et al., 2022).

El enfriamiento superficial de un sistema de CV está relacionado a la composición y formas de crecimiento de la comunidad vegetal, así como a los caracteres morfo-fisiológicos de las especies (i.e., AFE, HVeg, resistencia estomática, albedo, etc.) (De Nardo et al., 2005; Bevilacqua et al., 2015; Steinfert et al., 2018; Cascone et al., 2019). El uso acotado solo a especies suculentas puede retardar o disminuir el efecto de enfriamiento en el sustrato, ya que esta forma de crecimiento presenta altas tasas de resistencia estomática y, por lo tanto, los mecanismos de evapotranspiración del sistema sustrato-planta se ven reducidos (Monteiro et al., 2017). Como alternativa, las especies herbáceas presentan mayores tasas de evapotranspiración aumentando los efectos de enfriamiento (Lundholm et al., 2015). Un estudio llevado a cabo por Franzaring et al. (2016) mostró que plantas en arreglos de mesocosmos retienen hasta un 40 % del agua de lluvia que puede ser empleado para evapotranspiración aumentando el efecto de enfriamiento. Si bien ese estudio (Franzering et al., 2016) no encontró diferencias entre el efecto de enfriamiento con los monocultivos, una alta cobertura y supervivencia fueron factores claves para explicar la provisión de este servicio.

En esta caracterización, algunos monocultivos (*Sedum mexicanum*, *P. nodiflora*) o microcosmos de 1 o 2 formas de crecimiento (herbáceas rastreras y gramíneas; gramíneas) alcanzaron valores comparables del IDVCV con respecto a microcosmos más diversos. Sin embargo, se recomienda seleccionar aquellos ensambles de plantas que combinen más de dos especies, formas de crecimiento y grupos funcionales como por ejemplo suculentas, herbáceas rastreras, gramíneas y herbácea alta; suculentas y herbáceas rastreras; y gramíneas o suculentas, herbáceas rastreras, herbácea alta ya que pueden contribuir a predecir múltiples funciones ecosistémicas y mayor probabilidad de supervivencia de las especies en el tiempo.

#### **4.7 Conclusión**

El análisis de componentes principales con las ocho especies estudiadas mostró cinco grupos funcionales definidos a partir de cinco caracteres funcionales de las especies. La varianza total se explicó con un 75,8 % (47,40 % y 28,04 % para CP 1 y CP 2 respectivamente). Estos resultados se confirmaron también con el análisis de agrupamiento. El IDVCV permitió ordenar la gran cantidad de microcosmos, y seleccionar a los mejores de acuerdo a la mayor cobertura vegetal final (> 90 %) y al incremento en el crecimiento (> 80 %) con la menor variación. Se encontraron monocultivos tan buenos como las mezclas complejas con 8 especies y 4 formas de crecimiento. Se recomienda el diseño de CVE con un ensamble de plantas de al menos 2 o más especies, de diferentes formas de vida y diversidad por grupos funcionales, con el objetivo de potenciar los múltiples beneficios que proveen las CVE.

## CAPÍTULO 5



### **DISCUSIÓN GENERAL Y CONSIDERACIONES FINALES**

En este capítulo se resumen los resultados más relevantes de la Tesis, y se brindan algunas recomendaciones sobre los criterios para la selección de especies nativas para uso en CVE para nuestra región. Se hace hincapié en la importancia de la incorporación de diseños biodiversos en el entorno construido, así como tener en cuenta los diseños basados en la dinámica natural de la vegetación y la importancia de estos criterios en las CVE con el objetivo de contribuir a la resiliencia de las ciudades de regiones semiáridas actuales y futuras, como la ciudad de Córdoba.

La emergencia ambiental y la reciente pandemia han generado más conciencia de que un cambio en el modo que vivimos como sociedad es urgente para reducir las consecuencias del desarrollo actual (Guarino et al., 2021). Las últimas décadas de la historia humana han generado una excesiva presión sobre los ecosistemas naturales y seminaturales (Grimm et al., 2008). Al mismo tiempo la esperanza de vida ha crecido y con ello la curva exponencial demográfica mundial (Kathri, 2022). En este contexto, el rol de la infraestructura verde y aquellas soluciones que tomen la naturaleza como pilar son estrategias esenciales para reconectar a las personas con la naturaleza y moderar algunas de las funciones perdidas por el avance de la urbanización (Grimm et al., 2008; Pickett y Cadenasso, 2008). Las CV representan un medio fundamental de compensación ecológica dentro del entorno urbano al incorporar vegetación en espacios

desaprovechados en las ciudades como las superficies impermeables de las construcciones edilicias (Oberdorfer et al., 2007; Catalano et al., 2016). Sin embargo, las condiciones microambientales creadas en las CVE presentan ciertos desafíos para la vegetación (MacIvor et al., 2013). Los ambientes naturales y seminaturales de la provincia de Córdoba se presentan como oportunidad para la exploración de hábitats y encontrar variabilidad de especies nativas vegetales con potencial de uso en CV de bajo mantenimiento. En esta Tesis se partió del enfoque de los hábitats modelos como primer paso para la búsqueda y recolección de germoplasma nativo y/o naturalizado con potencial de uso en CVE. Esto permitió recolectar 27 especies nativas, de las cuales 16 tuvieron éxito post colecta para su caracterización de CVE en monocultivo. Los indicadores de desempeño vegetal (supervivencia, cobertura vegetal y apariencia visual) permitieron seleccionar material vegetal de acuerdo una supervivencia mayor al 80 %, saludable y activo crecimiento, y porcentaje de cobertura mayor al 60 %, siguiendo valores estándares recomendados internacionalmente (FLL, 2008). Las especies seleccionadas en monocultivo, *P. nodiflora*, *G. cabreræ*, *E. retusa* y *S. mexicanum*, fueron evaluadas en microcosmos poli-específicos partiendo del concepto de que formas de crecimiento diferentes de las plantas (suculentas, herbáceas rastreras, herbáceas alta, gramíneas) presentan diferentes estructuras, divergencia en el uso de recursos y conjunto de adaptaciones al entorno, que permiten la coexistencia de las especies en el largo plazo y de que su rendimiento en mezcla de especies es mayor que en monocultivo (Lundholm et al., 2010). Se encontró que después de dos ciclos de evaluación, tanto microcosmos con dos o tres especies combinadas logran cobertura y supervivencia entre 60 y 80 %, con tendencia a un incremento. Algunos microcosmos como la mezcla de *P. nodiflora*, *E. retusa* y *S. mexicanum* logró una cobertura > 60 % y supervivencia > 82 % luego de 24 meses de evaluación. A nivel especie-específico, *E. retusa* fue dominante con respecto a las demás especies. Su incorporación es importante porque podría estar interviniendo como una especie nodriza de otras menos tolerantes, colaborando positivamente en su desempeño. En contraposición, el microcosmos de *P. nodiflora* y *G. cabreræ* tuvieron menor desempeño, sin embargo, ambas especies presentan características importantes en la sostenibilidad y resiliencia del ecosistema creado de CVE como la capacidad de resiembra y de rebrote que han sido recomendadas por otros autores a nivel local y global (Suárez, 2020; Schneider et al., 2021; Zhang et al., 2021).

El estudio de la diversidad funcional y composición filogenética apunta a aumentar los servicios ecosistémicos (Van Mechelen et al., 2014a; Cook-Patton, 2015; Walker y Lundholm, 2018). El

análisis de atributos de biodiversidad permitió determinar cinco grupos funcionales a partir de la evaluación caracteres de plantas fáciles de medir como el AF y la HVeg, los cuales han sido empleados en la predicción de funciones como la regulación de la temperatura, la retención del agua de lluvia y/o captura de carbono (Lundholm et al., 2015). Además, se empleó una herramienta de selección, el IDVCV, el cual permitió caracterizar por desempeño a los diferentes microcosmos, desde monocultivo hasta combinaciones de ensambles complejos. Los mismos se ordenaron de mayor capacidad de cobertura e incremento en el crecimiento, con la menor variación empleando el coeficiente de variación. Si bien se observaron monocultivos (*S. mexicanum*, *P. nodiflora*, *E. distichophylla*) tan buenos en desempeño como las mejores combinaciones de especies y formas de crecimiento, se recomienda el uso de microcosmos con dos o más especies y dos o más formas de crecimiento porque aportar mayor cantidad de beneficios ambientales. Sumado a esto, dada la actual extinción masiva de especies a nivel global (Rosenzweig, 2003; 2016) se considera importante a futuros estudios re evaluar aquellas especies de plantas que en condiciones de monocultivo no tuvieron el desempeño esperado como las seleccionadas, partiendo de la base que el rendimiento en mezclas de especies es la mayoría de las veces superior a monocultivos (Cook-Patton, 2015).

La disponibilidad actual de especies nativas para CVE en nuestra región es limitada. Las especies seleccionadas en la Tesis presentan potencial de uso para su incorporación y recomendación en el listado de especies nativas que propone la vigente Ordenanza Municipal de Cubiertas Naturadas 12548 de la ciudad de Córdoba. Algunas, como *P. nodiflora*, *Glandularia* sp., *S. montevidensis*, *E. retusa*, *E. distichophylla* y *N. tenuissima*, entre otras, se han empleado en obras públicas y privadas de CVE recientes. Un ejemplo, es el edificio Municipal Palacio 6 de Julio de la ciudad de Córdoba, en donde en el año 2019 se instaló una CVE de 68m<sup>2</sup> con las mejores especies seleccionadas de los resultados de esta Tesis. Desde el equipo de investigación del LRGySB se ha confeccionado un manual de cultivo con fichas técnicas de las especies evaluadas en esta tesis y de trabajo de colegas para la intervención de espacios urbanos de bajo mantenimiento (Imhof et al., 2019). Los resultados derivados de esta Tesis son un punto de inicio para la exploración de más especies nativas para intervenciones urbanas sustentables. El mercado de plantas nativas se verá potenciado ya que contribuye con información para viveros existentes y futuros, que promueven la producción de estratos bajos de vegetación local en el entorno urbano. En función de los resultados obtenidos, se recomienda el diseño de CVE para nuestra región en base a atributos de biodiversidad desde la composición,

estructura y diversidad funcional; que crezcan en ambientes coincidentes con bajos requerimientos hídricos y nutricionales. En la figura 5.1 se observa una fotografía del ensayo de CV correspondiente al objetivo 3 de la Tesis en la temporada primavera-verano en donde se puede apreciar la diversidad vegetal.



**Figura 5.1** Vista general del ensayo de cubierta vegetada en el Aula Taller de la Facultad de Arquitectura de la Universidad para analizar atributos de biodiversidad.

En la Figura 5.2 se observa otra vista de la misma cubierta vegetada en otro momento del año, en la temporada otoño invierno, en donde se observa las especies como *E. distichophylla* con su coloración foliar roja.



**Figura 5.2** Vista general del ensayo de cubierta vegetada en el Aula Taller de la Facultad de Arquitectura de la Universidad en época invernal.

El cambio de paradigma en el diseño del paisaje urbano se basa en respetar los ciclos de la vegetación, con fluctuaciones en su capa vegetal, con la aceptación de la incorporación de especies espontáneas (Clément, 2012; Dunnett, 2015). Estos criterios se han aplicado en un tercer tipo de cubiertas vegetadas “los techos biodiversos” con el objetivo de promover la biodiversidad en las ciudades. La diversidad en la floración de las CV contribuye tanto a la resiliencia del sistema, como a la aceptación pública pero además al soporte de la fauna local a partir de la provisión de hábitats (Benvenuti, 2014; Dunnett, 2015; Esfahani et al., 2022). Si bien no fue el objetivo de esta tesis, a lo largo del estudio de la misma, se observaron una gran cantidad de visitantes florales. En la Figura 5.3 se muestran algunos ejemplos de la diversidad de fauna fotografiada.



**Figura 5.3** Diversidad de fauna asociada a las especies estudiadas durante el desarrollo de la Tesis.

A partir de los resultados obtenidos en esta Tesis se disparan algunos interrogantes para futuras investigaciones en la temática. Por ejemplo, conocer la percepción y grado de aceptación social de las CV diseñadas con especies de plantas nativas, evaluar cómo será el desempeño vegetal incorporando diseños heterogéneos que contemplen distintas profundidades y composiciones de sustratos; evaluar el desempeño de las especies a partir de la creación de micro hábitats como por ejemplo, incorporando microorganismos benéficos en el sustrato (i.e., micorrizas, tricotermas) y evaluar su diversidad en función de mayor diversidad de plantas, entre otros (Fulthorpe et al., 2018). Diseños de CVE que incorporen elementos como piedras, troncos, hoteles de insectos, etc., también se han propuesto como herramientas para promover la diversidad en estos ecosistemas urbanos (Nash et al., 2019). Se suman a estas consideraciones, sistemas avanzados tecnológicamente como el ensamble de módulos de cubiertas vegetadas y paneles fotovoltaicos. Este ensamble, incipiente en nuestro país, se beneficia sinérgicamente ya que, por un lado, la cobertura vegetal enfría el sustrato colaborando en una mayor producción eléctrica por parte de los panel fotovoltaico, y a su vez estos protegen a las plantas de la exposición solar constante, brindando sombra y manteniendo el sustrato húmedo, lo cual aporta un mayor rendimiento de biomasa en las CV (Shafique et al., 2020).

En Argentina, si bien estos últimos 10 años se ha avanzado en el estudio de los beneficios de los sistemas de CV, aún es incipiente su investigación. Estos disparadores llevan a continuar estudiando los múltiples servicios ecosistémicos y beneficios asociados que representan las soluciones basadas en la naturaleza, para lograr no sólo beneficios ambientales para las personas sino también brindar servicios urbanos para otras formas de vida.

## BIBLIOGRAFÍA

Ahern, J.; Cilliers, S.; y Niemelä, J. (2014). The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: a framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning* 125 (Special issue), 254-259 <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>

Alberti, M.; Marzluff, J. M.; Schulenberger, E.; Bradley, G.; Ryan, C.; y Zumbrunnen, C. (2003). Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying urban Ecosystems. *BioScience*, 53(12), 1169–1179. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[1169:IHIEOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1169:IHIEOA]2.0.CO;2)

Alberti, M. (2017). Grand Challenges in Urban Science. *Frontiers in Built Environment*, 3(6), 1-5. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00006>

Arabi, R.; Shahidan, M. F.; Kamal, M. S.; Ja'afar, M. F. Z. B.; y Rakhshandehroo, M. (2015). Consideration for plant selection in green roofs. *Universiti Putra Malaysia. Alam Cipta*, 8(3), 10-17.

Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.859>

Arriola-Cepeda, R.; Vera, S.; Alborno, F.; y Steinfurt, U. (2018). Experimental study on the stomatal resistance of green roof vegetation of semiarid climates for building energy simulations. IBPC. <https://doi.org/10.14305/ibpc.2018.gb2.01>

Azeñas, V.; Janner, I.; Medrano, H.; y Gulías, J. (2018). Performance evaluation of five Mediterranean species to optimize ecosystem services of green roof under water-limited

---

conditions. *Journal of Environmental Management*, 212, 236-247.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.021>

Bates, A. J; Sadler, J.; y Mackay, R. (2013). Vegetation development over four years on two green roofs in the UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(1), 98-108.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.12.003>

Benvenuti, S.; y Bacci, D. (2010). Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban Ecosystems*, 13, 349-363. <https://doi.org/10.1007/s11252-010-0124-9>

Benvenuti, S. (2014). Wildflower green roof for urban landscaping, ecological sustainability and biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 124, 151-161.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.004>

Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4) 351-360.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

Bevilacqua, P.; Coma, J.; Pérez, G.; Chocarro, C.; Juárez, A.; Solé, C.; De Simone, M.; y Cabeza, L. F. (2015). Plant cover and floristic composition effect on thermal behavior of extensive green roofs. *Building and Environment*, 92, 305-316.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.026>

Bianchini, F.; y Hewage, K. (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*, 48, 57-65.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.019>

Blanusa, T.; Monteiro, M. M. V.; Fantozzi, F.; Vysini, E.; Li, Y.; y Cameron, R. W. F. (2013). Alternatives to *Sedum* on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better ‘cooling service’?. *Building and Environment*, 59, 99-106.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.011>

- Blaustein, L.; Kadas, G. J.; y Gurevitch, J. (2016). Integrating ecology into green roof research. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 62(1-2), 1-6. <https://doi.org/10.1080/15659801.2016.1208943>
- Bousselot, J. M.; Klett, J. E.; y Koski, R. D. (2010). Extensive green roof species evaluations using digital image analysis. *HortScience*, 45(8), 1288-1292. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1288>
- Brenneisen, S. (2006). Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland. *Urban habitats*, 4(1), 27-36. ISSN 1541-7115. <http://www.urbanhabitats.org>
- Brown, C.; y Lundholm, J. (2015). Microclimate and substrate depth influence green roof plant community dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 143, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.07.009>
- Buckland-Nicks, M.; Heim, A.; y Lundholm, J. (2016). Spatial environmental heterogeneity affects plant growth and thermal performance on a green roof. *Science of the Total Environment*, 553, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.063>
- Butler, C.; y Orians, C. M. (2011). Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. *Ecological Engineering*, 37(11) 1796-1803. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.025>
- Butler, C.; Butler, E.; y Orians, C. M. (2012). Native plants enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.11.002>
- Burns, J. H.; y Strauss, S. Y. (2011). More closely related species are more ecologically similar in an experimental test. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(13), 5302-5307. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013003108>

Cadotte, M. W. (2013). Experimental evidence that evolutionarily diverse assemblages result in higher productivity. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences*, 110(22), 8996-9000. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301685110>

Calheiros, C. S. C.; y Stefanakis, A. I. (2021). Green roofs towards circular and resilient cities. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 395-411. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00033-0>

Calviño, A. A.; Tavella, J.; Beccacece, H. M.; Estallo, E.; Fabián, D.; Moreno, M. L., Salvo, A.; y Fenoglio, M. S. (2023). The native-exotic plant choice in green roof design: Using a multicriteria decision framework to select plant tolerant species that foster beneficial arthropods. *Ecological Engineering*, 187, 106871. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106871>

Cardinale, B. J.; Palmer, M. A.; y Collins, S. L. (2002). Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. *Nature*, 415(6870), 426- 429. <https://doi.org/10.1038/415426a>

Carlisle, S.; y Piana, M. (2015). Green roof plant assemblage and dynamics. En R. K. Sutton. (Springer International Publishing Switzerland, Basel, Switzerland). *Green Roof Ecosystems* (pp. 285-310). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7>

Carter, T.; y Jackson, C. R. (2007). Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and urban planning*, 80(1-2), 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.005>

Casanoves, F.; Pla, L.; y Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica. Informe Técnico N°384.

Cascone, S. (2019) Green roof design: State of the art on technology and materials. *Sustainability*, 11(11), 3020. MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11113020>

Cascone, S.; Coma, J.; Gagliano, A.; y Pérez, G. (2019). The evapotranspiration process in green roofs: a review. *Building and Environment*, 147, 337-355. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.024>

Castellar, J. A.; Popartan, L. A.; Pueyo-Ros, J.; Atanasova, N.; Langergraber, G.; Säumel, I.; Corominas, L., S.; Comas, J.; y Acuña, V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: Terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>

Catalano, C.; Brenneisen, S.; Baumann, N.; y Guarino, R. (2016). Extensive green roofs: biodiversity at high levels. *Reticula*, 12, 1-10.

Catalano, C.; Laudicina, C. A.; Badalucco, L.; y Guarino, R. (2018). Some European green roof norms and guidelines through the lens of biodiversity: do ecoregions and plant traits also matter. *Ecological Engineering*, 115, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.006>

Catalano, C.; Pasta, S.; y Guarino, R. (2021). A plant sociological procedure for the ecological design and enhancement of urban green infrastructure. *Urban Services to Ecosystems: Green infrastructure benefits from the landscape to the urban scale*, 31-60.

Chamas, C. C.; y Mattes, L. A. F. (2000). Método para levantamiento de especies nativas con potencial ornamental. *Ornamental Horticulture*, 6, 53-63. <https://doi.org/10.14295/rbho.v6il.63>

Chell, S.; Tomson, N.; Kim, T. D. H.; y Michael, R. N. (2022). Performance of native succulents, forbs, and grasses on an extensive green roof over four years in subtropical Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127631. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127631>

Clément, G. (2012). *El Jardín en movimiento*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Collier, M. J.; Nedović-Budić, Z.; Aerts, J.; Connop, S.; Foley, D.; Foley, K.; Newport, D.; McQuaid, S.; Slaev, A.; y Verburg, P. (2013). Transitioning to resilience and sustainability in urban communities. *Cities*, 32(1) S21-S28. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.03.010>

Contesse, M.; van Vliet, B. J. M.; y Lenhart, J. (2018). Is urban agriculture urban green space? A comparison of policy arrangements for urban green space and urban agriculture in Santiago de Chile. *Land Use Policy*, 71, 566–577. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.006>

Cook-Patton, S. C. (2015). Plant biodiversity on green roofs. En R. K. Sutton. (Springer International Publishing Switzerland, Basel, Switzerland). Green Roof Ecosystems (pp. 193-209). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7_8)

Cook-Patton, S. C.; y Bauerle, T. L. (2012). Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs. *Journal of Environmental Management*, 106, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.003>

Cornelissen, J. H. C.; Lavorel, S.; Garnier, E.; Díaz, S.; Buchmann, N.; Gurvich, D. E.; et al.; y Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4), 335-380. <https://doi.org/10.1071/BT02124>

Currie, B. A.; y Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban ecosystems*, 11(4), 409-422.

De Groot, R. S.; Wilson, M. A.; y Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)

Del Gesso L.; y Romero, C. (2018). Utilización de sensores remotos para la evaluación del fenómeno de isla de calor urbana en la ciudad de Córdoba. Informe preliminar. *Observatorio Ambiental Municipal*. Municipalidad de Córdoba 2018.

<https://dokumen.tips/documents/utilizacin-de-sensores-remotos-para-la-utilizacin-de-sensores-remotos-para.html?page=1>

De la Casa, A. C.; y Nasello, O. B. (2014). Efectos del calentamiento global sobre el consumo de energía en la ciudad de Córdoba, Argentina. *ANALES AFA*, 25, 18-23. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2014.25.1.18>.

De Nardo, J. C.; Jarrett, A. R.; Manbeck, H. B.; Beattie, D. J.; y Berghage, R. D. (2005). Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Transactions of the ASAE*, 48(4), 1491-1496.

Derguy, M. R. (2020). *Clasificación ecológica para la República Argentina a partir del modelo de zonas de vida de Holdridge (1947, 1967): mapeo, caracterización y tendencias de cambio* [Tesis Doctoral], Universidad Nacional de La Plata).

Díaz, S.; y Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, 16(11), 646-655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)

Díaz, S.; Lavorel, S.; de Bello, F.; Quétier, F.; Grigulis, K.; y Robson., M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. USA. 104(52), 12-2007; 20684-20689.

Di Miceli, G.; Iacuzzi, N., Licata, M.; La Bella, S.; Tuttolomondo, T.; y Aprile, S. (2022). Growth and development of succulent mixtures for extensive green roofs in a Mediterranean climate. *PloS one*, 17(6), e0269446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269446>.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González L.; Tablada, M.; y Robledo, Y. C., (2010). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <https://www.infostat.com.ar/>

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González L.; Tablada, M.; y Robledo, Y. C., (2020). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <https://www.infostat.com.ar/>

Drewniak, M. E.; Briscoe, A. D.; Cocucci, A. A.; Beccacece, H. M.; Zapata, A. I.; y Moré, M. (2020). From the butterfly's point of view: learned colour association determines differential pollination of two co-occurring mock verbains by *Agraulis vanillae* (Nymphalidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 130(4), 715- 725. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa066>

Du, P.; Arndt, S.; y Farrell, C. (2018). Relationships between plant drought response, traits and climate of origin for green roof plant selection. *Ecological Applications*, 28(7), 1752-1761. <https://doi.org/10.1002/eap.1782>

Dunnett, N. (2015). Ruderal green roofs. En R. K. Sutton. (Springer International Publishing Switzerland, Basel, Switzerland). (pp. 233-255). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7_10)

Dunnett, N.; y Kingsbury (2008). Planting Green Roofs and Living Walls. *Timber Press*, 2008. Portland, Oregon, vol. VII, p. 328. ISBN: 9780881929119 0881929115

Durhman, A. K.; Rowe, D. B.; y Rugh, C. L. (2007). Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 42(3), 588-595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.3.588>

Dvorak, B. D.; y Volder, A. (2013). Plant establishment on unirrigated green roof modules in a subtropical climate. *AoB Plants*, 5(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.1093/aobpla/pls049>

ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT. Índice de Ciudades Verdes en América Latina– *Siemens e INEC*, 2012, pp. 70.

Emilsson, T. (2008). Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix. *Ecological Engineering*, 33(3-4), 265-277.

Emilsson, T.; y Rolf, K. (2005). Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. *Urban Forestry and Urban Greening*, 3(2),103-111. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2004.07.001>

Esfahani, R. E.; Paço, T. A.; Martins, D.; y Arsénico, P. (2022). Increasing the resistance of Mediterranean extensive green roofs by using native plants from old roof and walls. *Ecological Engineering*, 178, 106576. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106576>

European Commission (COM) (2013). Green infrastructure (GI)—enhancing Europe’s natural capital. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

European Commission (2013). Building a Green Infrastructure for Europe. – Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Fabián, D.; González, E.; Sánchez Domínguez, M. V.; Salvo, A.; y Fenoglio, M. S. (2021). Towards the design of biodiverse green roofs in Argentina: Assessing key elements for different functional groups of arthropods. *Urban Forestry & Urban Greening*, 61, 127107. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127107>

Facciuto, G. R.; Bologna, P.; Bugallo, V. L.; y Rivera, M. C. (2019). Recursos genéticos ornamentales nativos de Argentina: de la colecta a la producción. *Revista de RG News*, 5(1) 13-17. Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos

Farrell, C.; Mitchell, R. E.; Szota, C., Rayner, J. P.; y Williams, N. S. G. (2012). Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence, and substrate. *Ecological Engineering*, 49, 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.036>

Farrell, C.; Ang, X. Q.; y Rayner, J. P. (2013a). Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates. *Ecological Engineering*, 52, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.098>

Farrell, C.; Szota, C.; Williams, N. S. G.; y Arndt, S. (2013b). High water users can be drought tolerant: using physiological traits for green roofs plant selection. *Plant soil*, 372, 177-193. <https://sci-hub.se/10.1007/s11104-013-1725-x>

Farrell, C.; Livesley, S. J.; Arndt, S. K.; Beaumont, L.; Burley, H.; Ellsworth, D., Esperon-Rodriguez, M.; Fletcher, T. D.; Gallagher, R.; Ossola, A.; Power, S. A.; Marchin, R.; Rayner, J. P.; Rymer, P. D.; Staas, L.; Szota, L.; Williams, N. S. G.; y Leishman, M. (2022). Can we integrate ecological approaches to improve plant selection for green infrastructure? *Urban Forestry & Urban Greening*, 76, 127732. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127732>

FLL (2008). Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing, 2008 edition, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn

Flores Asin, J. E.; Martinez, C. F.; Cantón, M. A.; y Correa, E. N. (2021). Green roofs in dry cities. Selection of plant species according to their biological and thermal behavior. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-182694/v1> Preprint.

Francis, R. A.; y Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of environmental management*, 92, 1429-1437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.012>

Franzaring, J.; Steffan, L.; Ansel, W.; Walker, R.; y Fangmeier, A. (2016). Water retention, wash-out, substrate and surface temperature of extensive green roof mesocosms-Results from a two-year study in SW-Germany. *Ecological Engineering*, 94, 503-515. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.021>

---

Fulthorpe, R.; MacIvor, J. S.; Jia, P.; y Yasui, S. L. E. (2018). The green roof microbiome: improving plant survival for ecosystem service delivery. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6(5), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00005>

Getter, K. L.; y Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1276>

Getter, K. L., Rowe, D. B.; y Cregg, B. M. (2009). Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(4), 269-281. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.06.005>

Gill, S. E.; Handley, J. F.; Ennos, A. R.; y Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built environment*, 33(1), 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>

Gioannini, R.; Al-Ajlouni, M.; Kile, R.; VanLeeuwen, D.; y St. Hilaire, R. (2018). Plant communities suitable for green roofs in arid regions. *Sustainability*, 10(6), 1755. <https://doi.org/10.3390/su10061755>

Giobellina, B.; Medina, S.; Pomazán, S.; y Sánchez Gavier, C. (2020). Infraestructuras verdes: desde el territorio a la cubierta habitable: Serie: innovaciones para la sostenibilidad en vivienda, ciudad y territorio : para el caso de Córdoba. 1a ed. compendiada. - Córdoba : Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba.

Goites, E.; Tito, G. M.; Nugent, P.; Patrouilleau, M. M.; Vitale Gutierrez, J. A.; Pérez, M. A.; Giobellina, B.; Escola, F.; Victoriano, F.; Hernández Toso, F.; y Dalmaso, C. (2020). Espacios agrícolas periurbanos: oportunidades y desafíos para la planificación y gestión territorial en Argentina. Ediciones INTA. [https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig\\_a9fd5a2533468944ab4160cf90c0e1b0](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_a9fd5a2533468944ab4160cf90c0e1b0)

Grime, J. P. (1974). Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, 250, 26-31.

Grime, J. P. (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111, 169-194.

Grime, J. P. (2001). Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties. Jhon Wiley & Sons Ltd., Chichester, U.K.

Grimm, N. B.; Faeth, S. H.; Golubiewski, N.E.; Redman, C. L.; Wu, J.; Bai, X.; y Briggs, J. M. (2008). Global Change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Gross, C. L.; Fatemi, M.; Julien, M.; McPherson, H.; y Van Klinken, R. (2017). The phylogeny and biogeography of Phyla nodiflora (Verbenaceae) reveals native and invasive lineages throughout the World. *Diversity*, 9(2), 20. <https://doi.org/10.3390/d9020020>

Guarino, R.; Andreucci, M. B.; Leone, M.; Bretzel, F.; Pasta, S. y Catalano, C. (2021). Urban Services to Ecosystems: An Introduction, in: Catalano, C.; Andreucci, M. B.; Guarino, R.; Bretzel, F.; Leone, M.; y Pasta, S. (Eds.), Urban Services to Ecosystems. Future City, 17. Springer, Cham, pp. 1–10. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75929-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75929-2_1)

Guo, B.; Arndt, S.; Miller, R.; Lu, N.; y Farrell, C. (2021). Are succulence or trait combinations related to plant survival on hot and dry green roofs? *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127248. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127248>

Hassler, U.; y Kohler, N. (2014) Resilience in the built environment. *Building Research & Information*, 42(2), 119-129, <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.873593>

Hector, A.; y Bagchi, R. (2007). Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature* 448(7150), 188-190. <https://doi.org/10.1038/nature05947>

Heim, A.; y Lundholm, J. (2014). Species interaction in green roofs vegetation suggest complementary planting mixtures. *Landscape and Urban Planning*, 130, 125-33. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.007>

Heim, A.; y Lundholm, J. (2016). Phenological complementarity in plant growth and reproduction in a green roof ecosystem. *Ecological Engineering*, 94, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.018>

Hobbie, S. E.; y Grimm N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B, 375(1794), 20190124. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>

Hooper, V. H.; Endter-Wada, J.; y Johnson, C. W. (2008). Theory and practice related to native plants a case study of Utah landscape professionals. *Landscape Journal*, 27(1), 127-141. <http://dx.doi.org/10.3368/lj.27.1.127>

Hui, L. C.; Jim, C.Y.; y Tian, Y. (2022). Public views on green roofs and green walls in two major Asian cities and implications for promotion policy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 70, 127546. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127546>

Ichihara, K.; y Cohen, J. P. (2011). New York City property values: what is the impact of green roofs on rental pricing?. *Letters in spatial and resource sciences*, 4(1), 21-30. <http://dx.doi.org/10.1007/s12076-010-0046-4>

Imhof, L. (2013). Bases para el mejoramiento genético en *Glandularia* para propósitos ornamentales. [Tesis Doctoral]. Universidad Católica de Córdoba (#000182064).

Imhof, L.; Suárez, M. A.; Hick, E. C. B.; Cáceres, N.; Matoff, E.; y Galetto, L. (2018). Selection of ornamental *Glandularia* hybrids potentially used as pot or breeding plants. *European Journal of Horticultural Science*, 83(3), 135-141. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.3.2>

Imhof, L.; Cáceres, N.; Suárez, M.; Hick, E. B; Matoff, E.; Fraschina, L.; Videla, E.; Fioretti, S.; Derguy, M. R.; Galetto, L. (2019). Manual de cultivo de plantas nativas y naturalizadas para espacios urbanos de bajo mantenimiento. Ed. EDUCC. ISBN 978-987-626-413-6

Jewsbury, G.; Loyola, M. J.; Carbone, L. M.; Carreras, M. E.; Pons, S. M.; Martinat, J. E.; Castillo Moine, M. A.; y Fuentes, E. (2016). *Guía de Campo: Pastos posfuego*. 1a ed. Córdoba Ecoval Editorial 2016.

Jim, C. Y. (2017). Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants. *Sustainable Cities and Society*, 35, 69-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.001>

Johnson, C.; Schweinhart, S.; y Buffan, I. (2016). Plant species richness enhances nitrogen retention in green roof plots. *Ecological Applications* 26(7), 2130-2144. <https://doi.org/10.1890/15-1850.1>

Kabish, N.; y Haase, D. (2014). Green justice or just green. Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 122, 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.016>

Kadas, G. (2006). Rare invertebrates colonizing green roofs in London. *Urban habitats*, 4(1), 66-86. ISSN 1541-7115.

Khatri, A. (2022). Message to mayors: cities need nature. Invest in ecology and environment to improve cities life. *Nature*, 601, 299. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00102-w>

Kazemi, F.; y Mohorko, R. (2017). Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates. *Urban Forestry & Urban Greening*, 23, 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.02.006>

Kennedy, C.; Cuddihy, J.; y Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2) 43-59. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>.

Klein, P. M.; y Coffman, R. (2015). Establishment and performance of an experimental green roof under extreme climatic conditions. *Science of the Total Environment*, 512-513, 82-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.020>

Kluge, M. (1977). Is *Sedum acre* L. a CAM plant?. *Oecologia*, 29(1), 77-83.  
<https://doi.org/10.1007/BF00345364>

Köhler, M.; Schmidt, M.; y Laar, M. (2003). Green roofs as a contribution to reduce urban heat islands. *Proceedings of the World Climate and Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil*, 1-5.

Köhler, M.; y Keeley, M. (2005). The green roof tradition in Germany: The example of Berlin. *Green Roofs: Ecological Design and Construction*. New York: Schiffer, 108-112.

Köhler, M. (2006). Long-term vegetation research on two extensive green roofs in Berlin. *Urban habitats*, 4(1), 3-26. ISSN 1541-7115.

Ksiazek-Mikenas, K.; y Köhler, M. (2018). Traits for stress-tolerance are associated with long-term plant survival on green roofs. *Journal of Urban Ecology* 1-10.  
<https://doi.org/10.1093/jue/juy016>

Kotze, D. J.; Kuoppamäki, K.; Niemikapee, J.; Mesimäki, M.; Vaurola, V.; y Lehvävirta, S. (2020). A revised terminology for vegetated rooftops based on function and vegetation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126644. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126644>

Laforteza, R.; Chen, J.; van den Bosch, C. K.; y Randrup, T. B. (2018). Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research*, 165, 431-441.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.038>

Latty, T. (2016). Biodiversity and green roof retrofit. Eds. Wilkinson, S. y Dixon, T. John Wiley & Sons, Ltd. Publicado 2016. *Green Roof Retrofit: Building Urban Resilience*, (pp. 106-117).  
<https://doi.org/10.1002/9781119055587.ch6>

La Roche, P.; y Berardi, U. (2014). Comfort and energy savings with active green roofs. *Energy and Building*, 82, 492-504. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.055>

Lavorel, S.; y Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional ecology*, 16(5), 545-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>

Lee, K. E.; Williams, K. J. H.; Sargent, L. D.; Farrell, C.; y Williams, N. S. (2014). Living roof preference is influenced by plant characteristics and diversity. *Landscape and Urban Planning*, 122, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09011>

Liberalesso, T.; Cruz, C. O.; Silva, C. M.; y Manso, M. (2020). Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land use policy*, 96, 104693. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104693>

Li, W. C.; y Yeung, K. K. A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.05.001>

Li, J.; y Nassauer, J. I. (2020). Cues to care: A systematic analytical review. *Landscape and Urban Planning*, 201, 103821. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103821>

Lönnqvist, J.; Hanslin, H. M.; Johannessen, B. G.; Muthanna, T. M.; Viklander, M.; y Blecken, G. (2021). Temperatures and precipitation affect vegetation dynamics on Scandinavian extensive green roofs. *International Journal of Biometeorology*, 65(6), 837-849. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02060-2>.

Montanari, M. S. L.; y Camiloni, I. (2022). Variabilidad espacio-temporal de la isla de calor superficial en tres ciudades argentinas. *Meteorologica*, 47(1), 1-36.

Lu., D.; y Weng, Q. (2009). Extraction of urban impervious surfaces from an IKONOS image. *International Journal of Remote Sensing*, 30(5), 1297-1311. <https://doi.org/10.1080/01431160802508985>.

Luebert, F. (2017). Los géneros de Heliotropiaceae en Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(4), 787-796. ISSN 0373-580 X

Lundholm, J. T. (2006) Green roofs and facades: A habitat template approach. *Urban Habitat*, 4(1), 87-101. ISSN 1541-7115

Lundholm, J. T. (2015a). Green roof plant species diversity improves ecosystem multifunctionality, *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 726-734. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12425>

Lundholm, J. (2015b). The Ecology and Evolution of Constructed Ecosystems as Green Infrastructure. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3(106) 1-7 <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2015.00106>

Lundholm, J.; MacIvor, J. S.; MacDougall, Z.; y Ranalli, M. (2010). Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions. *PLoS ONE*, 5(3), e9677. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009677>.

Lundholm, J. T.; y Richardson, P. J. (2010). Mini-review: Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. *Journal of Applied Ecology*, 47(5) 966-975. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01857.x>

Lundholm, J.; Heim, A.; Tran, S.; y Smith, T. (2014). Leaf and life history traits predict plant growth in a green roof ecosystem. *PLoS ONE*, 9(6), e101395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101395>

Lundholm, J.; Tran, S.; y Gebert, L. (2015). Plant functional traits predict green roof ecosystem services. *Environmental Science and Technology*, 49(4), 2366-2374. <https://doi.org/10.1021/es505426z>

Lundholm, J.; y Williams, N. (2015). Effects of Vegetation on Green Roof Ecosystem Services. En R. K. Sutton. (Springer International Publishing Switzerland, Basel, Switzerland). Green Roof Ecosystems. (pp. 211-232). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7_9)

Lundholm, J. T.; y Walker, E. A. (2018). Evaluating the habitat template approach applied to green roofs. *Urban Naturalist S 1*, 39-51.

MacIvor, J. S.; y Lundholm, J. (2011). Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats. *Urban ecosystems*, 14(2), 225-241. <https://doi.org/10.1007/s11252-010-0149-0>

MacIvor, J. S.; Margolis L.; Puncher, C. L.; y Matthews, B. J. C. (2013). Decoupling factors affecting plant diversity and cover on extensive green roofs. *Journal of Environmental Management*, 130, 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.014>

McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation*, 127(3), 247-260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>

Madre, F.; Vergnes, A.; Machon, N.; y Clergeau, P. (2014). Green roof as habitat for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling. *Landscape and Urban Planning*, 122, 100-107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.012>

Marengo, M. C.; y Buffalo, L. (2018). Transformaciones socioterritoriales en la ciudad Latinoamericana, el crecimiento urbano y los procesos de enseñanza en clave interdisciplinaria: El caso de Córdoba, Argentina. Politics and International Affairs Department; Urbana: Urban Affairs & Public Policy, 19, 1-17.

Mayrand, F.; y Clergeau, P. (2018). Green roofs and green walls for biodiversity conservation: a contribution to urban connectivity? *Sustainability*, 10(4), 985. <https://doi.org/10.3390/su10040985>

Mentens, J.; Raes, D.; y Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>

Monterusso, M.; Rowe, D. B.; y Clayton. R. (2005). Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience*, 40(2), 391-396. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.2.391>

Monteiro, M. V.; Blanusa, T.; Verhoef, A.; Richardson, M.; Hadley, P.; y Cameron, R. W. F. (2017). Functional green roofs: Importance of plant choice in maximizing summertime environmental cooling and substrate insulation potential. *Energy and buildings*, 141, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.011> [Get rights and content](#)

Mouchet, M. A.; Villéger, S.; Mason, N. W.; y Mouillot, D. (2010). Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, 24(4), 867-876. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01695.x>

Nagase, A.; y Dunnett, N. (2010). Establishment of an annual meadow on extensive green roofs in the UK. *Landscape and Urban Planning*, 112, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.12.007>

Nagase, A.; y Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and urban planning*, 104(3-4), 356-363. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.001>

Nagase, A.; y Dunnett, N. (2013). Establishment of an annual meadow on extensive green roofs in the UK. *Landscape and Urban Planning*, 112, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.12.007>

Nagase, A.; Dunnett, N.; y Choi, M. S. (2017). Investigation of plant growth and flower performance on a semi-extensive green roof. *Urban Forestry and Urban Greening*, 23, 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.013>

Nagase, A.; y Tashiro-Ishii, Y. (2018). Habitat template approach for green roofs using a native rocky see coast plant community in Japan. *Journal of Environmental Management*, 206, 255-265. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.001>

Nash, C.; Anca Ciupala, M.; Gedge, D.; Lindsay, R.; y Connop, S. (2019). An ecomimicry design approach for extensive green roofs. *Journal of Living Architecture*, 6(1), 62-81. <https://doi.org/10.46534/jliv.2020.06.01.062>

Nawaz, R.; McDonald, A.; y Postoyko, S. (2015). Hydrological performance of a full scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecological Engineering*, 82, 66-80. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.061>

Oberndorfer, E.; Lundholm, J.; Bass, B.; Coffman, R.; Doshi, H.; Dunnett, N.; Gaffing, S.; Köhler, M.; Liu, K.; y Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bio Science*, 57(10), 823-833. <https://doi.org/10.1641/B/71005>

Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7(8), 769-779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)

Pérez-Harguindeguy, N.; Díaz, S.; Garnier, E.; Lavorel, S.; Poorter, H.; Jaureguiberry, P.; Cornelissen, J. H. C. (2016). Corrigendum to: new handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64(8), 715-716. [https://doi.org/10.1071/BT12225\\_CO](https://doi.org/10.1071/BT12225_CO)

Pickett, S. T.; Cadenasso, M. L.; y Meiners, S. J. (2013). Vegetation dynamics. *Vegetation ecology*, 107-140. <https://doi.org/10.1002/9781118452592.ch4>

R Development Core Team. (2019). R: A language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Ranalli, M.; y Lundholm, J. (2008). Biodiversity and ecosystem function in constructed ecosystems. *CABI Reviews* 16.

Rasband, W. S. (2018). Image J, U.S.A., National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018

Rayner, J. P.; Farrell, C.; Raynor, K. J.; Murphy, S. M.; y Williams, N. S. (2016). Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: the importance of leaf succulence in plant selection. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 6-14. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.004>.

Razzaghmanesh, M.; Beecham, S.; y Brien, C. J. (2014a). Developing resilient green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 490, 579-589. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.040>

Razzaghmanesh, M.; Beecham, S.; y Kazemi, F. (2014b). The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science Total Environment*, 476, 288-297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.014>

Robbiati, F. O.; Cáceres, N.; Hick, E. C.; Suárez, M.; Soto, S.; Barea, G.; Matoff, E.; Galetto, L.; y Imhof, L. (2022). Vegetative roofs show better performance as biodiversity attributes are increased. *Building and Environment*, 212, 108791. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108791>

Rosenzweig, M. L. (2003). Reconciliation ecology and the future of species diversity. *Oryx*, 37(2), 194-205. <https://doi.org/10.1017/S0030605303000371>

Rosenzweig, M. L. (2016). Green roofs: new ecosystems to defend species diversity. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 62(1-2), 7-14. <https://doi.org/10.1080/15659801.2015.1121600>

- Rowe, B.; Durham, A. K.; y Rugh, C. L. (2006). Assessment of substrate depth and composition on green roof plant performance. Canada.
- Sailor, D. J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40(8), 1466-1478. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.001>
- Santos, T., Tenedório, J. A.; y Gonçalves, J. A. (2016). Quantifying the city's green area potential gain using remote sensing data. *Sustainability*, 8(12), 1247. <https://doi.org/10.3390/su8121247>
- Saraeian, Z.; Farrell, C.; y Williams, N. S. (2022). Green roofs sown with an annual plant mix attain high cover and functional diversity regardless of irrigation frequency. *Urban Forestry & Urban Greening*, 73, 127594. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127594>
- Savi, T.; Dal Borgo, A.; Love, V. L.; Andri, S.; Tretiach, M.; y Nardini, A. (2016). Drought versus heat: What's the major constraint on Mediterranean green roof plants?. *Science of the Total Environment*, 566-567, 753-760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.100>
- Schneider, A.; Fusco, M.; y Bousselot, J. (2014). Observations on the survival of 112 plant taxa on a green roof in a semi-arid climate. *Journal of Living Architecture*, 1(5), 10-30. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11977821>
- Schneider, A.; Landis, M.; y Bousselot, J. (2021). Observations on the survival capacity of 118 plant taxa on a green roof in a semi-arid climate: 12-year update. *Journal of Living Architecture*, 8(1), 19-40. <https://doi.org/10.46534/jliv.2021.08.01.019>
- Schmid, B.; Hector A.; Saha P.; y Loreau M. (2008). Biodiversity effects and transgressive overyielding. *Journal of Plant Ecology*, 1, 95–102. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtn011>
- Sendo, T.; Kanechi, M.; Uno Y.; y Inagaki, N. (2010). Evaluation of growth and green coverage of ten ornamental species for planting as urban rooftop greening. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 79(1), 69-76, 2010. <https://doi.org/10.2503/jjshs1.79.69>

Sérsic, A.; Coccuci, A.; Díaz, L.; Glinos, N.; Lazarte, C.; Medina, M.; Moré, M.; Baranzelli, M.; Córdoba, S.; Cosacov, A.; Ferreiro, G.; Ibañez, A. C.; Marino, S.; Maubecin, C. C.; Paiaro, V.; Renny, M.; Sazartoni, F.; Sosa Pivato, M.; Soteras, F.; Strelin, M.; Trujillo, C.; y Wiemer, A. P. (2015). Flores del centro de Argentina II: nueva guía ilustrada para conocer 229 especies. 1a ed. Córdoba, Argentina. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal.

Seto, K. C.; Güneralp, B.; y Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.121165810>

Silva, C. M.; Gomes, M. G.; y Silva, M. (2016). Green roofs energy performance in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 116, 318-325. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.012>

Simmons, M. T.; Gardiner, B.; Windhager, S.; y Tinsley, J. (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems*, 11(4) 339–348. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4>

Snodgrass, E. C.; y Snodgrass, L. L. (2006). Green roof plants: a resource and planting guide. *Portland: Timber Press*. ISBN: 0881927872; 9780881927870.

Snodgrass, E.C.; y McIntyre, L. (2010). The green roof manual: a professional guide to design, installation, and maintenance. Timber Press, London.

Sosa, A. J.; Cardo, M. V.; Julien, M. H.; y Moonen, A. C. (2017). Predicting weed distribution at the regional scale in the native range: environmental determinants and biocontrol implications of *Phyla nodiflora* (Verbenaceae). *Weed Research*, 57(3), 193-203. <https://doi.org/10.1111/wre.12247>

---

Soto, M. S.; Greppi, J. A.; y Facciuto, G. (2011). Exploration and collection of ornamental germplasm native to Argentina. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 5(1), 10-22.

Southwood, T. R. E. (1977). Habitat, the templet for ecological strategies? *Journal of Animal Ecology*, 46, 337-365. <https://doi.org/10.2307/3817>

Speak, A. F.; Rothwell, J. J.; Lindley, S. J.; y Smith, C. L. (2013). Reduction of the urban cooling effect of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate*, 3, 40-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2013.01.001>

Stovin, V.; Poë, S.; De-Ville, S.; y Berretta, C. (2015). The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance. *Ecological Engineering*, 85, 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.076>

Steinfort, U.; Arriola-Cepeda, R.; Vera, S.; y Albornoz, F. (2018). Experimental study on the stomatal resistance of green roof vegetation of semiarid climates for building energy simulations. 7<sup>th</sup> International Building Physics Conference. <https://doi.org/10.14305/ibpc.2018.gb-2.01>

Stumpf, E. R. F.; Heiden, G.; Barbieri, R. L.; Fisher, S. Z.; Nietzke, R. S.; Zanchet, B.; y Grolli, P. R. (2007). Metodo para avaliacao da potencialidade ornamental de flores e folhagens de corte nativas e nao convencionais. *Ornamental Horticulture*, 13(2), 123-133.

Suárez, M. A. (2020). Avances en la introducción de cubiertas naturadas sustentables para zonas urbanas y periurbanas de la ciudad de Córdoba: selección de materiales de *Glandularia* spp. [Tesis Doctoral]. Universidad Católica de Córdoba, 2020.

Suárez, M.; Cáceres, N.; Imhof, L.; Hick, E.; Fenoglio, M. S.; Ivancovich, G.; Romero, S.; Cortadi, M.; y Wulf, E. (2016). Relevamiento de techos verdes de la ciudad de Córdoba. Primer Diagnóstico. Ed. de la Universidad Católica de Córdoba. (pp. 1-20) ISBN 978-987-626-332-0

Suárez, M.; Galetto, L.; Cáceres, N.; Hick, E.; Mattof, E.; y Imhof, L. (2019). Performance of native plant genotypes (*Glandularia*- Verbenaceae) on semi-intensive green roofs with low

maintenance requirements. *Cities and The Environment*, 12(2), 1-17.  
<https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol12/iss2/3>

Susca, T.; Gaffin, S. R.; y Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2119-2126.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>

Sutton, R. K. (2015). Introduction to Green Roof Ecosystems. R. Sutton (ed.), *Green Roofs Ecosystems*, Ecological Studies 223, Springer, Cham. Switzerland, 2015.

Sutton, R. K.; Harrington, J. A.; Skabelund, L.; MacDonagh, P.; Coffman, R. R.; y Koch, G. (2012). Prairie-based green roofs: literature, templates, and analogs. *Journal of Green Building*, 7(1), 143-172. <http://dx.doi.org/10.3992/jgb.7.1.143>

Szota, C.; Farrell, C.; Williams, N. S.; Arndt, S.K.; y Fletcher, T. D. (2017). Drought-avoiding plants with low water use can achieve high rainfall retention without jeopardizing survival on green roofs. *Science of the Total Environment*, 603, 340-351.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.061>

Theodosiou, T. G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, 35(9), 909-917.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00023-9)

Thuring, C. E.; y Dunnett, N. P. (2019). Persistence, loss and gain: Characterising mature green roof vegetation by functional composition. *Landscape and urban planning*, 185, 228-236.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.026>

Tilman, D.; Reich P. B.; Knops, J.; Wedin D.; y Lehman C. (2001). Diversity and productivity in the long-term grassland experiment. *Science*, 294(5543), 843-845.  
<https://doi.org/10.1126/science.1060391>

Timan, D.; y Lehman, C. L. (2002). Biodiversity, composition, and ecosystem processes: theory and concepts. pp. 9-41. In a Kinzig, D. Tilman, and S. Pacala Eds. Functional concepts consequences of biodiversity: empirical progress and theoretical extensions. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

Torres, C.; y Galetto, L. (2002). Are nectar sugar composition and corolla tube length related to the diversity of insects that visit Asteraceae flowers?. *Plant biology*, 4(3), 360-366. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32326>

Torres, C.; y Galetto, L. (2008). Importancia de los polinizadores en la reproducción de Asteraceae de Argentina Central. *Acta Botánica Venezuelica*, 31(2), 473-494. ISSN 0084-5906.

Ulibarri, E. A.; y Burkart, A. (2000). Sinopsis de las especies de *Adesmia* (Leguminosae, Adesmieae) de la Argentina. *Darwiniana*, 38, 59-126. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2014.381-2.162>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, (ST/ESA/SER.A/366).

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population, Division. (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations. <https://doi.org/10.18356/b9e995fe-en>

Van Mechelen, C.; Dutoit, T.; Kattge, J.; y Hermy, M. (2014a). Plant trait analysis delivers an extensive list of potential green roof species for Mediterranean France. *Ecological Engineering*, 67, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.043>

Van Mechelen, C.; Dutoit, T.; y Hermy, M. (2014b). Mediterranean open habitat vegetation offers great potential for extensive green roofs design. *Landscape and Urban Planning*, 121, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.010>

Van Mechelen, C.; Dutoit, T.; y Hermy, M. (2015). Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: A review. *Sustainable Cities and Society*, 19, 74-90. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.007>

Van Renterghem, T. (2018). Improving the noise reduction by green roofs due to solar panels and substrate shaping. *Building Acoustics*, 25(3), 219-231. <https://doi.org/10.1177/1351010X18776804>

Vasl, A.; y Heim, A. (2016). Preserving plant diversity on extensive green roofs- theory to practice. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 62(1-2), 103-111. <https://doi.org/10.1080/15659801.2015.1035507>

Vals, A.; Shalom, H.; Kadas, G. J.; y Blaustein, L. (2017). Sedum-Annual plant interactions on green roofs: facilitation, competition and exclusion. *Ecological Engineering*, 108, 318-329. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.034>

VanWoert, N. D.; Rowe, D. B.; Andresen, J. A.; Rugh, C. L.; Fernandez, R. T.; y Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*, 34(3), 1036-1044. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0364>

Vázquez Novoa, M. E. (2020). Caracterización del sistema de reproducción y ploidía de plantas ornamentales a partir de gramíneas nativas para paisajes urbanos de bajo mantenimiento. [Tesis Doctoral]. Facultad de ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.

Vidal, C.; Ibañez, M.; Boito, G.; Crenna, C.; y Basconsuelo, S. (2016). Sistema reproductivo de *Adesmia bicolor* (Leguminosae). *Interciencia*, 41(11), 757-762. ISSN: 0378-1844.

Vijayaraghavan, K. (2016) Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740-752, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>

Violle, C.; Navas, M. L.; Vile, D.; Kazakou, E.; Fortunel, C.; Hummel, I.; y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>

Williams, N. S.; Lundholm, J.; y MacIvor, J. S. (2014). Do green roofs help urban biodiversity conservation? *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1643-1649. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12333>

Wolf, D.; y Lundholm, J. T. (2008). Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 33(2), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.008>

Wu, J.; Xiang, W. N.; y Zhao, J. (2014). Urban ecology in China: Historical development and future directions. *Landscape & Urban Planning*, 125, 222-233. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.010>

Xie, G.; Lundholm, J.; y MacIvor, S. (2018). Phylogenetic diversity and plant trait composition predict multiple ecosystem functions in green roofs. *Science of the Total Environment*, 628-629, 1017-1026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.093>

Yang, J.; Yu, Q.; y Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7266-7273. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>

Zalazar, M.; Funes, G.; y M. P. Venier. (2009). Factors affecting germination in *Justicia squarrosa* Griseb, a native forage species of the Chacoregion of Argentina. *Agriscientia* 26, 1-6.

Zardini, E. M. (1971). Las especies del genero *Sedum* (Crassulaceae) espontáneas en la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 14(1-2), 95-106.

Zhang, H.; Lu, S.; Fan, X.; Wu, J.; Jiang, Y.; Ren, L.; Wu, J.; y Zhao, H. (2021). Is sustainable extensive green roof realizable without irrigation in a temperate monsoonal climate? A case study in Beijing. *Science of The Total Environment*, 753, 142067. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142067>

Zuloaga, F.; y Morrone, O. (1999). Catálogo de las plantas vasculares de Argentina Ed.: MORRONE O. Botanical Garden Missouri, 1999, p. 621. Botanical Garden Missouri.

## SITIOS WEBS CONSULTADOS

Academia Nacional de Ciencias de California. [www.calacademy.com](http://www.calacademy.com). Fecha de consulta: 11 de agosto, 2022

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/hydrophyllaceae/namaundulatum/fichas/ficha.htm> *Nama undulatum*.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana. Roma, Italia. <https://www.fao.org/urban-food-actions/resources/resources-detail/es/c/1492604/> Fecha de consulta: Julio, 2022

Flora Argentina [www.floraargentina.edu.ar](http://www.floraargentina.edu.ar) . Fecha consulta: año 2016; 2017, 2020, 2022

<http://buscador.floraargentina.edu.ar/species/details/25190> *Glandularia* sp.

<http://buscador.floraargentina.edu.ar/species/details/193032#:~:text=Esta%20variedad%20es%20nativa%20de,de%20este%20tax%C3%B3n%20como%20pastura> *Phyla nodiflora*

<http://buscador.floraargentina.edu.ar/species/details/16736> *Grindelia* sp.

<http://buscador.floraargentina.edu.ar/species/details/17066> *Hysterionica jasionoides*

<http://buscador.floraargentina.edu.ar/species/details/17727> *Senecio vira-vira*

Foro Económico Mundial <https://www.weforum.org/> Fecha de consulta: Julio, 2022

Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR) <https://www.idecor.gob.ar/> Fecha de consulta: Agosto, 2022

---

Instituto de Botánica Darwinion (IBODA, CONICET) [www.darwin.edu.ar](http://www.darwin.edu.ar)

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Adesmia grandiflora*  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=grandiflora&genero=Adesmia&espcod=4169>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Heliotropium curassavicum*  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=c urassavicum&subespecie=&especie=curassavicum&genero=Heliotropium&espcod=7221>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Nama undulatum*  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=a ustrale&subespecie=&especie=undulatum&genero=Nama&espcod=2261>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Phyla nodiflora*  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=m inor&subespecie=&especie=nodiflora&genero=Phyla&espcod=193032>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Glandularia* sp.  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=venturii&genero=Glandularia&espcod=25205>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Scoparia montevidensis*.  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=montevidensis&genero=Scoparia&espcod=15129>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Grindelia cabreræ*.  
<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=c abreræ&subespecie=&especie=cabreræ&genero=Grindelia&espcod=16734>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Hysterionica jasionoides*

---

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=jasionoides&genero=Hysterionica&espcod=17066>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Senecio vira-vira*

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=vira-vira&genero=Senecio&espcod=17727>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Justicia squarrosa*

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=squarrosa&genero=Justicia&espcod=22230>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Eustachys retusa*

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=retusa&genero=Eustachys&espcod=21910>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Melica macra*

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=macra&genero=Melica&espcod=22700>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Schizachyrium condensatum*

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=condensatum&genero=Schizachyrium&espcod=13666>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Eleocharis* sp.

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=bonariensis&genero=Eleocharis&espcod=9962>

Instituto de Botánica Darwinion. Catálogo de Plantas Vasculares: *Sisyrinchium unguiculatum*

<http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=unguiculatum&genero=Sisyrinchium&espcod=23715>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. República Argentina (INDEC) 2010

<https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135> Fecha de consulta: Julio, 2022

Mapas de Córdoba. Geoportal IDE de la Provincia de Córdoba.  
<https://www.mapascordoba.gob.ar/#/mapas> Fecha de consulta: Agosto, 2022

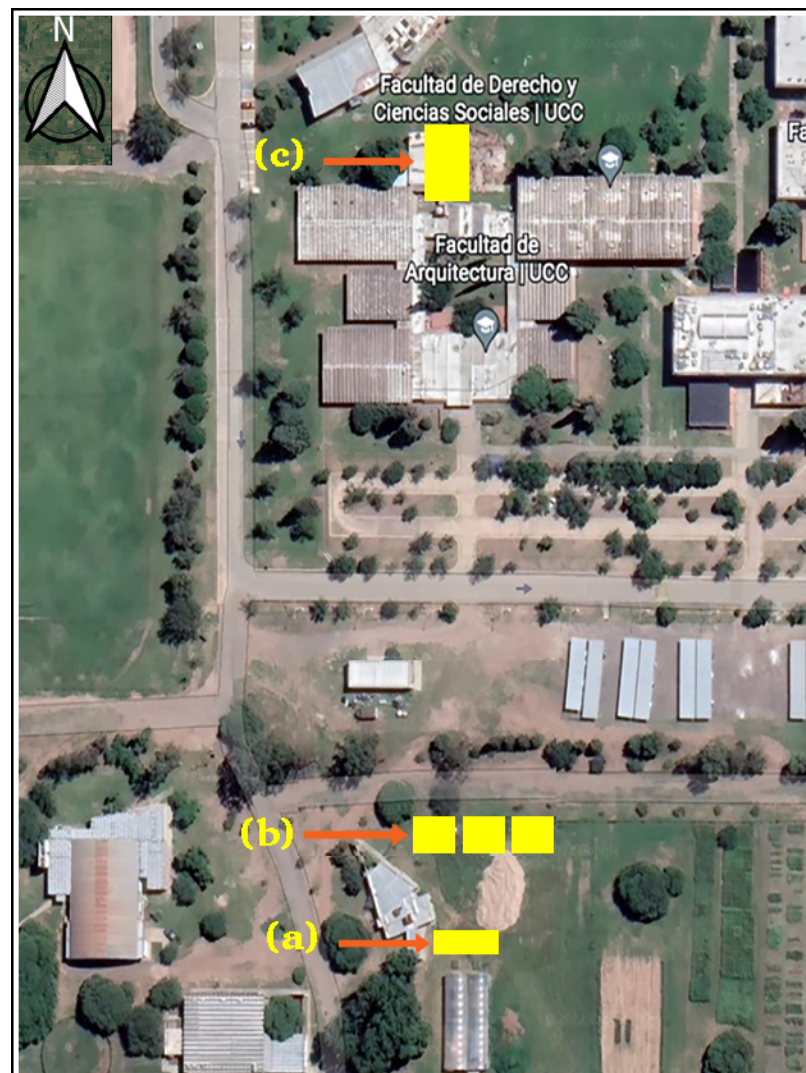
Ordenanza N° 4428 Terrazas Verdes Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires  
<https://boletinoficial.buenosaires.gob.ar/normativaba/norma/212875>

Ordenanza N° 12548 Cubiertas Naturadas. Concejo Deliberante de la Ciudad de Córdoba.  
[https://static.cordoba.gov.ar/DigestoWeb/pdf/8b065e84-8361-4059-9ffe-ef271931267a/ORD\\_12548.pdf](https://static.cordoba.gov.ar/DigestoWeb/pdf/8b065e84-8361-4059-9ffe-ef271931267a/ORD_12548.pdf)

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat). 2020.  
<https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/Nueva-Agenda-Urbana-Ilustrada.pdf>

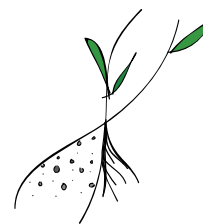
## ANEXOS

## I



**Figura Suplementaria 1.1** Ubicación de los ensayos correspondientes a los tres objetivos específicos de la Tesis realizados en el Campus de la Universidad Católica de Córdoba. Periodo: 2016 a 2019 **(a)** Objetivo específico 1 (Capítulo 2): ensayo de CVE para la caracterización y selección de plantas nativas en condiciones de monocultivo **(b)** Objetivo específico 2 (Capítulo 3): ensayo de CVE para la evaluación en combinaciones poli-específicas de las especies seleccionadas en (a) **(c)** Objetivo específico 3 (Capítulo 4): ensayo de CVE a escala real de techo para la evaluación de atributos de biodiversidad.

## II

**Informe de Laboratorio de Análisis de muestra de sustrato****Solicitante:** Natalia Cáceres**Fecha recepción:** 04/10/18**Fecha informe:** 09/10/18**Muestra:** Mezcla tierra negra, perlita, cáscara de maní, compost equino, 3:1:1:1**Parámetros físicos <sup>(1)</sup>:**

Densidad de sustrato	0,57 g.cm <sup>-3</sup>
Densidad de partícula	1,35 g.cm <sup>-3</sup>
Espacio poroso total (P)	77 %
Relación poros/sólidos	3,35
Espacio de aire (EA)	35,6 %
Capacidad de retención de agua (CRA)	41,4 %

**Parámetros químicos:**

pH (1:10)	7,4
C.E. (1:10)	0,39 ds.m <sup>-1</sup>

**Indicador de madurez (I.G.)** (no solicitado)

Ariel Ringuelet

Los resultados informados corresponden a la muestra remitida por el solicitante, base seca.

<sup>(1)</sup>: Metodología propuesta por The Test Method for the Examination of Composting and Compost (TMECC).

## FICHAS BOTÁNICAS DE ESPECIES

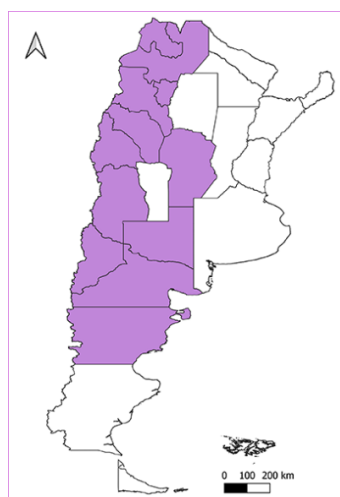
**Nombre científico:** *Adesmia grandiflora* Gillies Ex. Hook. y Arn.

**Nombre vernáculo:** Adesmia

**Familia:** Fabaceae (Sub familia: Papilionoideae)

**Status:** Endémica

**Origen, distribución y características del hábitat:** Se conocen 240 especies del género *Adesmia* distribuidas en Sudamérica; en Argentina existen alrededor de 100 especies, 11 de ellas viven en regiones áridas y semiáridas, en zonas serranas y pedemontanas. Crecen sobre suelos degradados por erosión mecánica, arenosos, gravisollos o arcillosos (Vidal et al, 2016).



**Figura Suplementaria 2.1** Vista general de la especie *A. grandiflora* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *A. grandiflora* (Imagen derecha) Fuente: Instituto de Botánica Darwinion (IBODA-CONICET, <http://www.darwin.edu.ar>).

**Ciclo de vida y Características morfo-funcionales:**

*Adesmia* se caracteriza por ser un género polimórfico, con gran plasticidad fenotípica. Comprende hierbas ascendentes, perennes o anuales, de abundante floración. *A. grandiflora* es una hierba hasta 0,7 m de altura. Sus hojas miden entre 0,03 a 0,1 m de longitud, y presenta entre 5 y 10 pares de folíolos. Sus flores son de tonos amarillos y naranjas. El fruto es un lomento articulado, de 0,015 a 0,5 m de longitud (Vidal et al., 2016).

**Figura Suplementaria 2.2** Lámina de *A. muricata* (Fuente: Ulibarri y Burkart, 2000)



**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** algunas especies de *Adesmia*, como *A. bicolor*, son utilizadas como forrajeras de invierno. Además, cumplen un papel importante en la fijación de nitrógeno y control de la erosión por su capacidad de cobertura. Las especies de *Adesmia* son polinizadas por insectos de la familia Apídea por lo que contribuyen a la conservación de abejas nativas. Se multiplica por semillas y esquejes (Vidal et al., 2016).

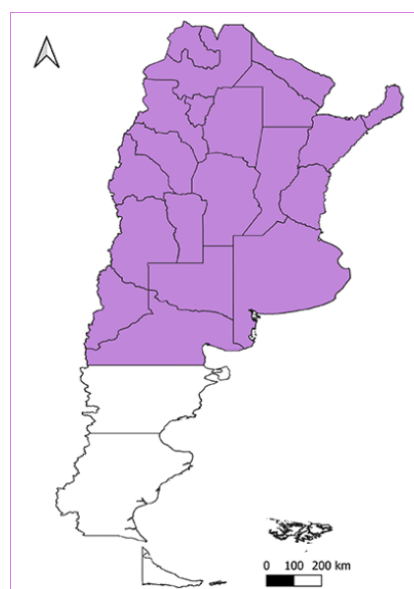
**Nombre científico:** *Heliotropium curassavicum* L.

**Nombre vernáculo:** Heliotropo

**Familia:** Boraginaceae (Sub Familia Heliotropioideae)

**Status:** Nativa

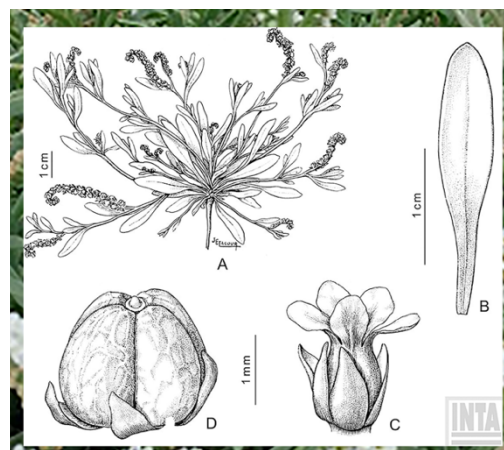
**Origen, distribución y hábitat:** Existen alrededor de 300 especies que se extienden desde Canadá hasta Argentina, de las cuales 21 son nativas de nuestro país La especie *H. curassavicum*. Se encuentra adaptada a gran diversidad de ambientes, desde región Chaqueña hasta la Patagonia. Habita ambientes halófilos, degradados, en banquinas, al costado de rutas, suelos arcillosos y a veces inundables (Luebert, 2017).



**Figura Suplementaria 2.3** Sitio de recolección de la especie *H. curassavicum*, banquina RN 38 Capilla del Monte, Pcia. de Córdoba, Argentina (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *H. curassavicum* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET <http://www.darwin.edu.ar>)

**Ciclo de vida y características morfológicas:** hierbas procumbentes, perennes de hasta 0,2 m de alto. Sus hojas son angostas, carnosas, glaucas de 5 a 15 mm. Las inflorescencias se disponen en cincinnos preferentemente dobles, de 0,10 a 0,15 m de longitud, sésiles, simples, presentan entre 12 a 25 flores, de color blanquecinas y violáceas. Las flores se caracterizan por ser escorpiodes y abundantes. El fruto tiene un tamaño pequeño de 1,7 a 2 mm (Luebert, 2017).

**Figura Suplementaria 2.4** Lámina botánica *H. curassavicum* (Fuente: Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria/ INTA).



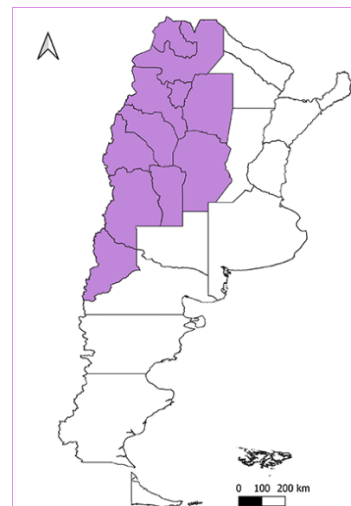
**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** Se caracteriza por sus propiedades medicinales (Barboza et al., 2006). Se multiplica por semillas, división de matas y esquejes.

**Nombre científico:** *Nama undulatum* Kunth.

Nombre vernáculo: Matagusano, Yerba del zorro

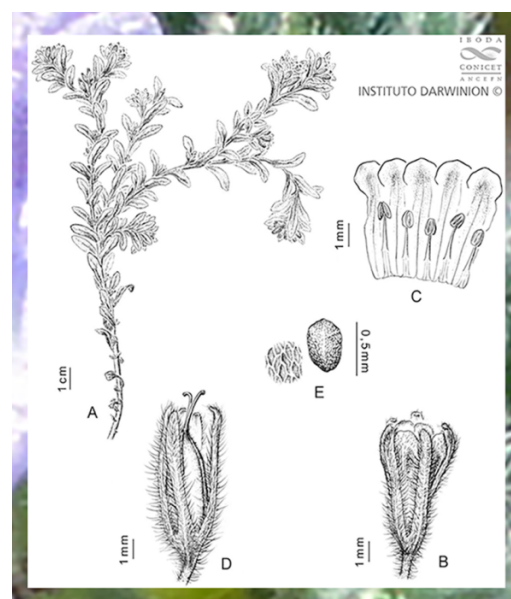
**Familia:** Boraginaceae (Sub Familia Heliotropioideae)      **Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:** El género *Nama* presenta más de 40 especies que se distribuye de Norte América hasta la región noroeste de Argentina. *N. undulatum* Crece en suelos bien drenados, rocosos y arenosos (Fuente: [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx))



**Figura Suplementaria 2.5** Sitio de recolección de *N. undulatum*, camino río Quilpo, San Marcos Sierras, Pcia. de Córdoba, Argentina (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *N. undulatum* (Imagen derecha). (Fuente: IBODA-CONICET; <http://www.darwin.edu.ar>).

**Ciclo de vida y características morfológicas:** Hierba anual de hasta 30 cm de altura. Presenta flores sésiles de tonos violáceas y agrupadas en gromérulos densos en las axilas de las hojas pilosas. Tallos simples o ramificados. El fruto es una cápsula oblonga, produce gran cantidad de semillas (Novara, 1993; [www.conabio.mx.com](http://www.conabio.mx.com); <http://www.darwin.edu.ar> IBODA-CONICET).



**Figura Suplementaria 2.6** Lámina botánica de *N. undulatum* (Fuente: IBODA-CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** sus hojas se emplean como pesticidas (Imhof et al., 2019). Se multiplica por semillas

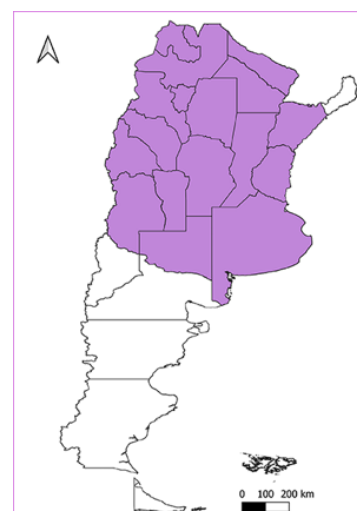
**Nombre científico:** *Phyla nodiflora* (L.) Greene.

**Nombre vernáculo** Yerba del mosquito,  
Alfombra blanca

**Familia:** Verbenaceae

**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:** Hierba originaria de Sudamérica, se distribuye desde el sur de Ecuador hasta sur de Argentina, también considerada naturalizada en Europa e invasora en Oceanía (Gross et al., 2017; Sosa et al., 2017) (Figura 2.10.1 (a)). En Argentina se distribuye en 17 provincias (Figura 2.10.1 (b)). Especie de hábito rastrero que le permite con gran facilidad de colonizar distintos ambientes ya que puede reproducirse sexual y asexualmente por estolones. Habita lugares húmedos y secos, se la encuentra en ambientes urbanizados (Sosa et al., 2017).



**Figura Suplementaria 2.7** Vista general de *P. nodiflora* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET (<http://www.darwin.edu.ar>)).

**Ciclo de vida y características morfológicas:** Hierba perenne postrada de 0,03 a 0,60 m de alto, inflorescencias axilares, simples, alargándose a la madurez, pedúnculos largos, con corola blanca, rosada o lila. Hojas elípticas, ovadas, subsésiles, sin indumento. Tallos rastreros que forman estolones, que le permiten reproducirse vegetativamente ([www.floraargentina.com.ar](http://www.floraargentina.com.ar))



**Figura Suplementaria 2.8** Lámina botánica de *P. nodiflora* (Fuente: IBODA-CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** Se utiliza para macetas colgantes, como cubresuelo por su poder tapizante, presenta abundante y prolongada floración. En Australia es considerada una especie invasora con daños en campos (Gross et al., 2017; Sosa et al., 2017). Se multiplica por semillas, división de matas, esquejes, enraíza muy fácilmente.

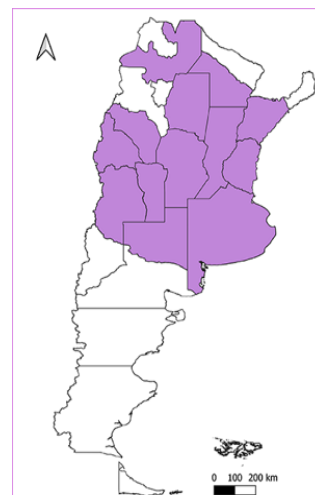
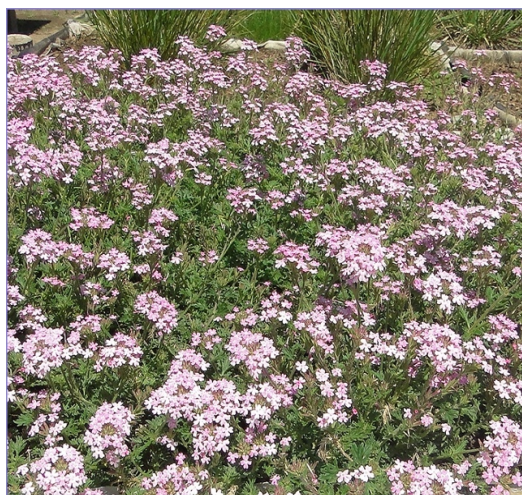
**Nombre científico:** *Glandularia* sp.

**Nombre vernáculo:** verbena

**Familia:** Verbenaceae

**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:** *Glandularia* es un género exclusivamente de origen americano, con 100 especies distribuidas desde América del Norte hasta Sudamérica, con la mayor diversidad de especies en Argentina (36 especies y 1 variedad botánica). Son especies cosmopolitas, que han colonizado todo tipo de ambientes como praderas, bordes de caminos, laderas, bosques, etc. (Imhof, 2013). Esto les confiere gran adaptación a todo tipo de ambientes.



**Figura Suplementaria 2.9** Vista general del híbrido de *Glandularia* (#11) (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *Glandularia* sp. (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET).

**Ciclo de vida y Características morfológicas:**

Plantas compactas, erguidas y rastreras, estoloníferas, presenta abundante número de ramificaciones.

Sus inflorescencias se caracterizan por la gran diversidad e intensidad de colores de blancas, amarillas, rosadas, rojas, lilas, azules, con alrededor de 30 a 50 flores (Imhof, 2013).



**Figura Suplementaria 2.10** Lámina botánica de *Glandularia* sp. (Fuente: IBODA-CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** especie con gran interés ornamental, se ha mejorado para diferentes usos como macetas, canteros y cubiertas vegetadas extensivas (CVE) (Imhof, 2013; Suárez, 2020). Dado su bajo requerimiento nutricional son excelentes para diseños paisajísticos de bajo mantenimiento. Además, floración atrae gran cantidad de visitantes florales. Se propaga por semilla y agámicamente (Imhof, 2013; Drewniak et al., 2018).

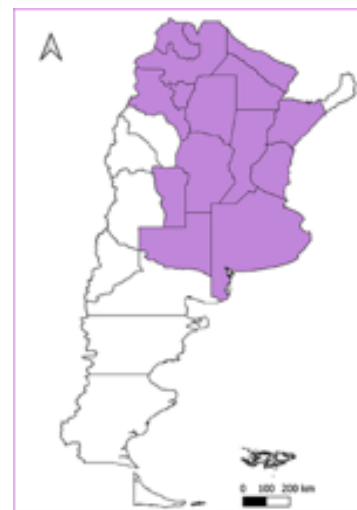
**Nombre científico:** *Scoparia montevidensis* (Spreng) R.E. Fr.

**Nombre vernáculo:** Canchalagua, copita, inambú-caá, matapulgas

**Familia:** Plantaginaceae

**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:** Tiene distribución en Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. En el país crece en zonas boscosas, en el piso superior de las yungas y en pastizales de altura. Es común en suelos húmedos, arenosos y arcillosos, también se encuentra en ambientes áridos y semiáridos (Barboza et al., 2006; Sérsic et al., 2015).



**Figura Suplementaria 2.11** Vista general de *S. montevidensis* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *S. montevidensis* (Imagen derecha)

**Ciclo de vida y características morfológicas:** planta herbácea anual o perenne, mide entre 0,2 a 0,4 m de alto, muy ramificada. Presenta abundante floración amarilla, el fruto es una cápsula globosa. Las hojas presentan una lámina cuneada, elípticas y ovadas (Sérsic et al., 2015).



**Figura Suplementaria 2.12** Lámina botánica de *S. montevidensis*  
(Fuente: IBODA-CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** utilizada en la medicina popular para tratar afecciones hepáticas, digestivas, respiratorias, emenagoga, anti cefálica. Presenta abundante floración por lo que es visitada por numerosos polinizadores (Sérsic et al., 2015). Potencial para borduras en paisajes urbanos. Se multiplica por semillas y esquejes, enraíza muy fácilmente.

**Nombre científico:** *Grindelia cabreræ* Ariza.

**Nombre vernáculo:** Grindelia

**Familia:** Asteraceae

**Status:** Endémica

**Origen, distribución y hábitat:** Género de amplia distribución, con 67 especies descritas; 47 en América del Norte, y 26 en A. del sur. En Argentina se encuentran 13 especies nativas. Habita lugares áridos y semiáridos, crecen al costado de caminos y en suelos degradados formando grandes matas.



**Figura Suplementaria 2.13** Sitio de recolección de la especie *G. cabreræ*, Capilla del Monte, Pcia. de Córdoba, Argentina (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *G. cabreræ* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:** subarbusto perenne, de porte alto, tallos erguidos de 0,1 a 0,4 m. Hojas sésiles, elípticas, dentadas, con tricomas glandulares. Capítulos radiados de 15 a 35 mm de diámetro, flores con corolas amarillas y abundantes (Fuente: [www.floraargentina.com.ar](http://www.floraargentina.com.ar)).



**Figura Suplementaria 2.14** Lámina botánica de *G. cabreræ* (Fuente: Museo Botánico, FCEFyN-UNC).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** han sido descritas como potenciales para la fabricación de adhesivos, barnices. Varias especies nativas de esta familia que habitan en Córdoba atraen a una amplia diversidad de polinizadores, tienen flores de interés ornamental y si bien se pueden auto-polinizar, en algunas especies, la producción de semillas se ve favorecida frente a la presencia de polinizadores (Torres y Galetto, 2008).

**Nombre científico:** *Hysterionica jasionoides* Willd.

**Nombre vernáculo:** Botón de oro

**Familia:** Asteraceae

**Status:** Nativa

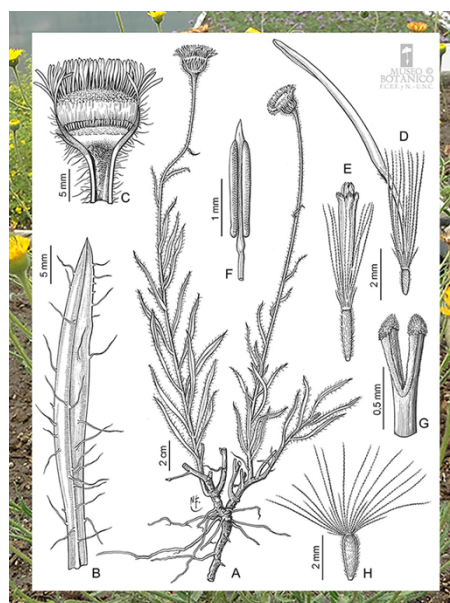
**Origen, distribución y hábitat:** Se encuentra en Bolivia, Uruguay y Centro de Argentina. Crece en ambientes degradados y secos, en caminos, banquetas, en zonas urbanizadas o terrenos modificados ([www.floraargentina.com.ar](http://www.floraargentina.com.ar)).



**Figura Suplementaria 2.15** Vista general de *H. jasionoides* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *H. jasionoides* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:**

Hierbas perennes, rizomatozas, erguidas de hasta 0,4m de altura. Tallos erectos y hojas hirsutas/as, con pelos blancos cortos, que caracterizan a la especie. Inflorescencias en capítulos solitarios, con flores de corolas amarillas que tornan a naranjas y rojos a la madurez (Sérsic et al., 2015).



**Figura Suplementaria 2.16.** Lámina botánica de *H. jasionoides* (Fuente: Museo Botánico, FCEfyN-UNC)

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** potencial como ornamental para uso en maceta y cantero por su abundante floración de diferentes tonos (amarillos a rojizos) que logran en las etapas de maduración (Imhof et al., 2019). Se multiplica por semillas y esquejes.

**Nombre científico:** *Senecio vira-vira* Hieron.

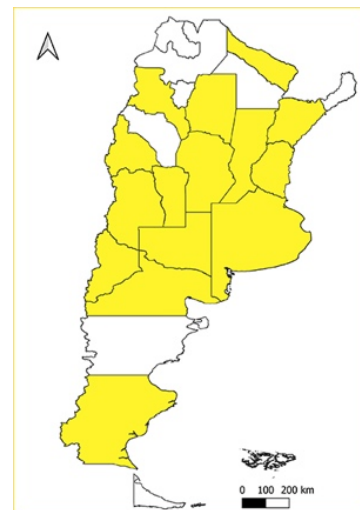
**Nombre vernáculo:** Senecio, flor de reina, vira-vira de plata

**Familia:** Asteraceae

**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:**

Se distribuye por el Sur de Brasil Uruguay, norte y centro de Argentina. Típica de ambientes áridos, suelos permeables, rocosos; frecuente en banquinas, caminos, barrancas.



**Figura Suplementaria 2.17** Vista general de *S. vira-vira*, lugar: campus UCC (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *S. vira-vira* Hieron (Imagen derecha).

**Ciclo de vida y características morfológicas:**

subarbusto perenne de 0,30 a 0,5 m de alto. Tallos erguidos, hojas pinnatifolias o bipinnatifolias de color gris plata. Flores isomorfas, numerosas, con corolas blancas a rosadas-liliáceas, tubulosas. Aquenios cilíndricos (Fuente: [www.floraargentina.com.ar](http://www.floraargentina.com.ar))



**Figura Suplementaria 2.18** Lámina botánica de *S. vira-vira* (Fuente: IBODA- CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** Presente gran valor ornamental, brinda un interesante contraste por su follaje gris plata y su abundante floración. Se multiplica por semillas y esquejes.

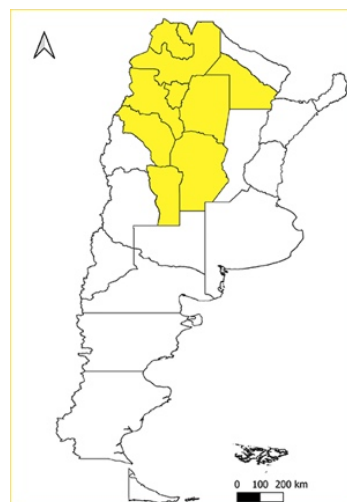
**Nombre científico:** *Justicia squarrosa* Griseb.

**Nombre vernáculo:** Justicia

**Familia:** Acanthaceae

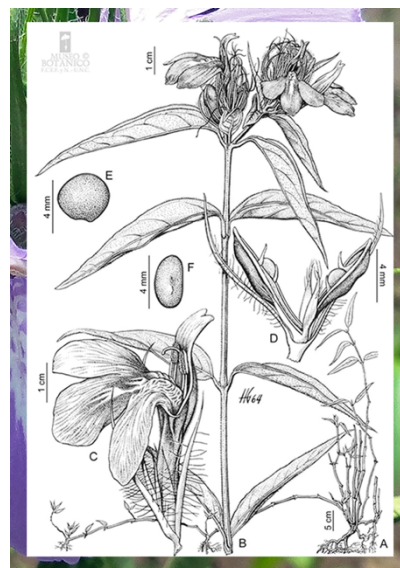
**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:** Se distribuye en el sudeste de Bolivia, oeste de Paraguay, y norte y centro de Argentina en la región fitogeográfica del Chaco occidental. Tiene preferencias por ambientes secos y degradados.



**Figura Suplementaria 2.19** Vista general de *J. squarrosa* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *J. squarrosa* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:** Subarbusto perenne de hasta 0,3 m de alto, con rizomas leñosos y tallos erguidos, algunos postrados y con capacidad de enraizamiento en los nudos. Hojas con láminas angostas, lanceoladas. Las flores vistosas, se disponen en espigas cortas y densas, de corola violáceas, con marcadas guías de néctar (Zalazar et al., 2009; Sérsic et al., 2015).



**Figura Suplementaria 2.20** Lámina botánica de *J. squarrosa* (Fuente: Museo Botánico, FCEFYN-UNC).

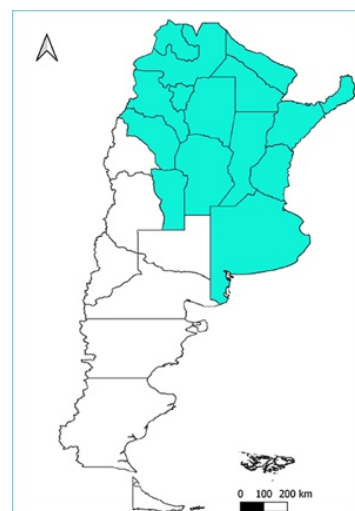
**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** se utiliza como especie forrajera que contribuye a la dieta del ganado frente a condiciones de sequía en la región del Chaco árido argentino (Zalazar et al., 2009). Se multiplica por semillas, división de matas y esquejes.

**Nombre científico:** *Eustachys retusa* (Lag.) Kunth **Nombre vernáculo:** pata de gallo, capín-loquerino

**Familia:** Poaceae

**Status:** Nativa

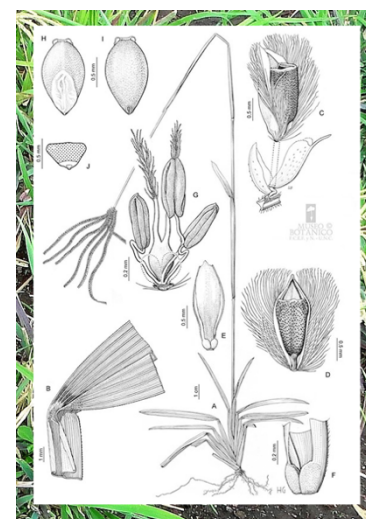
**Origen, distribución y hábitat:** Habita en Brasil, Paraguay, Uruguay, Bolivia y Argentina. Crece solitaria o a veces co dominante. Le gustan los suelos arenosos, pedregosos, salitrosos, secos, húmedos, se la puede encontrar en la riberas de cursos de agua (Jewsbury et al., 2016)



**Figura Suplementaria 2.21** Vista general de la especie *E. retusa* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *E. retusa* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA- CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:**

Planta perenne, de crecimiento estival, presenta rizomas cortos, tiene gran poder germinativo. Puede llegar hasta los 0,8 m de altura. Sus hojas son vainas planas o plegadas, de 6 a 10 mm de ancho. Las inflorescencias llegan hasta los 0,10 m de longitud, y tienen entre 6 y 15 racimos erectos (Jewsbury et al., 2016).



**Figura Suplementaria 2.22** Lámina botánica de *E. retusa* (Fuente: Museo Botánico, FCEfyN-UNC).

Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica: potencial para su uso en jardinería como borduras o en canchales y por la gran producción de inflorescencias. Otras: es una excelente forrajera (Jewsbury et al., 2016; Vázquez-Novoa, 2020).

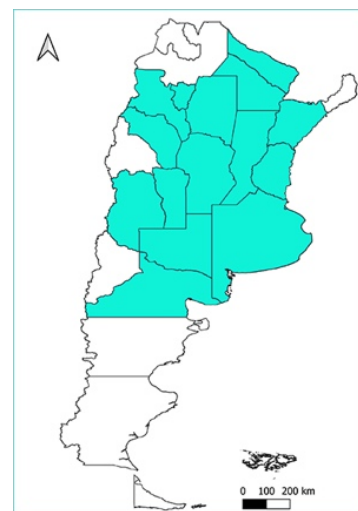
**Nombre científico:** *Melica macra* Nees.

**Nombre vernáculo:** Paja brava, Paja cortadera, Espartillo bravo, etc.

**Familia:** Poaceae

**Status:** Endémica

**Origen, distribución y hábitat:** Especie endémica de Brasil, Uruguay y Argentina. Habita suelos preferentemente abiertos, le gustan los suelos secos y también húmedos, hábita lugares bajos, sierras, suelos pedregoso arenosos, bien drenados (Jewsbury et al., 2016; Vázquez-Novoa, 2020).



**Figura Suplementaria 2.23** Vista general de la especie *M. macra* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *M. macra* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:** Es una especie perenne, densamente cespitosa. Las hojas son ásperas y duras, cortantes, de ápice punzante. Tiene inflorescencias de color mate blanquecinas de 0,10-0,15m de longitud (Jewsbury et al., 2016).



**Figura Suplementaria 2.24** Lámina botánica de *M. macra* (Fuente: Instituto de Botánica Darwinion, IBODA-CONICET).

**Nombre científico:** *Schizachyrium condensatum*  
(Kunth.) Nees

**Nombre vernáculo:** Pasto colorado, pasto escoba, Aguará, Cola de zorro, Paja colorada

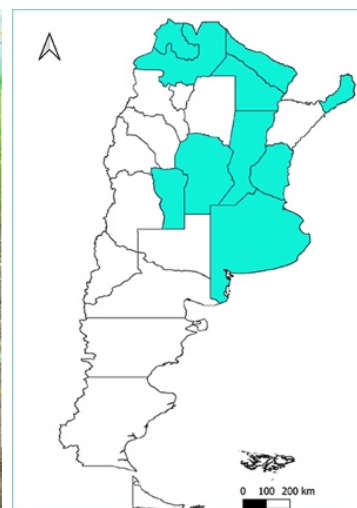
**Familia:** Poaceae

**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:**

En Sudamérica se distribuye en Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina.

Crece en campos, en bordes de caminos de suelos pedregosos, arenosos bien drenados. Se encuentra en campos, pastizales o sabanas (Jewsbury et al., 2016).



**Figura Suplementaria 2.25** Vista general de la especie *S. condensatum* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *S. condensatum* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:** gramínea perenne, de crecimiento estival. Llegan hasta los 0,70 m de altura, presentan cañas delgadas, glabras, ramificadas. Las hojas son láminas lineares (Jewsbury et al., 2016).



**Figura Suplementaria 2.26** Lámina botánica de *S. condensatum* (Fuente: Instituto de Botánica Darwinion, IBODA-CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** Presenta valor ornamental por su color rojizo (Vázquez-Novoa, 2020). En algunos lugares se considera invasora, mientras que en otros tiene usos medicinales (Jewsbury et al., 2016; Vázquez-Novoa, 2020). Se propaga por división de matas y semillas.

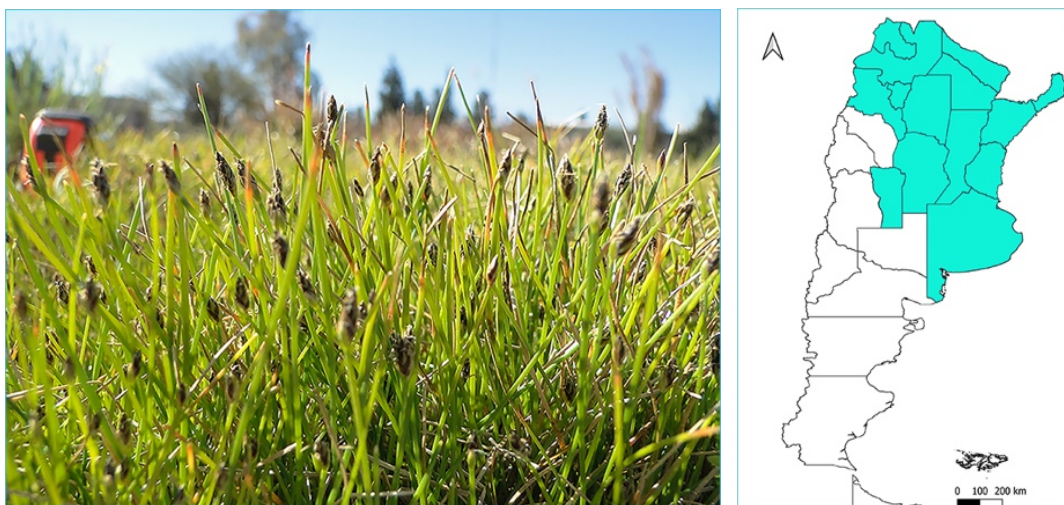
**Nombre científico:** *Eleocharis* sp

**Nombre vernáculo:** Eleocharis

**Familia:** Cyperaceae-Cyperoideae

**Status:** Nativa

**Origen, distribución y hábitat:** Género de 200-250 especies, de amplia distribución. Prefiere suelos húmedos, estancados, pero también crece en ambientes áridos.



**Figura Suplementaria 2.27** Vista general de la especie *Eleocharis* sp. (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *Eleocharis* sp. (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET).

**Ciclo de vida y Características morfológicas:**

plantas cespitosas perennes, que han reducido sus hojas alrededor de la base del tallo rígidos. Son glabras, rizomatozas, que le permite colonizar grandes superficies. Presentan espiguillas solitarias, sin brácteas, las flores son pequeñas.



**Figura Suplementaria 2.28** Lámina botánica de *Eleocharis* sp. (Fuente: Instituto de Botánica Darwinion, IBODA-CONICET).

**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** en diseños paisajísticos puede emplearse como cubresuelo.

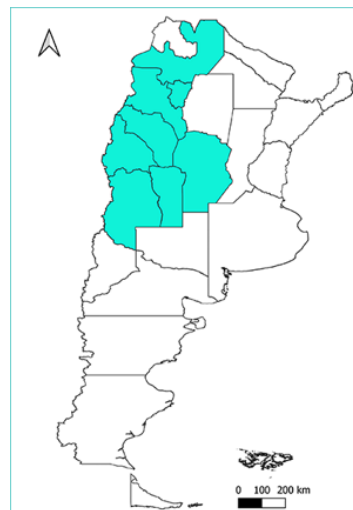
**Nombre científico:** *Sisyrinchium unguiculatum* Griseb.

**Nombre vernáculo:** Sisirincho

**Familia:** Iridaceae

**Status:** Endémica

**Origen, distribución y hábitat:** Las iridáceas tienen se distribuyen por todo el continente americano. *S. unguiculatum* Griseb. es endémica de la región noroeste de Argentina (Sérsic et al., 2015; Instituto de Botánica Darwinion). Habita lugares pedregosos, afloramientos rocosos.



**Figura Suplementaria 2.29** Vista general de *S. unguiculatum* (Imagen izquierda); Provincias de Argentina donde se encuentra la especie *S. unguiculatum* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

#### Ciclo de vida y Características morfológicas:

Planta graminoide perenne. En estado vegetativo se confunde con una gramínea. Presentan tallos subterráneos, tipo rizomas o raíces muy delgadas o engrosadas. Sus flores son abundantes, presentan 6 pétalos de color amarillo. El fruto es una cápsula de valvas y numerosas semillas. Las hojas se disponen en roseta basal, dísticas y ensiformes (Sancho, 1982).

**Figura Suplementaria 2.30** Lámina botánica de *S. unguiculatum* (Fuente: Instituto de Botánica Darwinion, IBODA-CONICET)



**Usos, interés paisajístico y/o importancia ecológica:** las especies de la familia Iridáceae presentan gran uso en diseños paisajísticos por la belleza de sus flores. Se propaga por semillas y división de macollo.

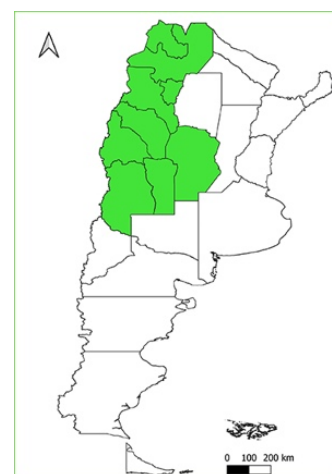
**Nombre científico:** *Sedum mexicanum* Britton

**Nombre vernáculo:** Sedum

**Familia botánica:** Crassulaceae

**Status:** Exótica

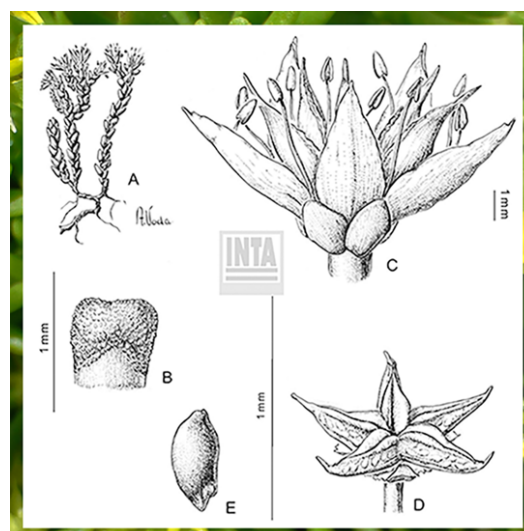
**Origen, distribución y hábitat:** La familia de las Crassulaceae comprende 35 géneros de aproximadamente 1400 especies herbáceas o subarborescentes, con amplia distribución mundial, pero con mayor ocurrencia en el hemisferio norte y Sudáfrica. El género *Sedum* se caracteriza por su diversidad de formas y su gran adaptación a climas templados y secos, crecen en suelos pocos profundos, pedregosos. En la región del centro y norte de Argentina se han encontrado dos especies endémicas como *S. cymatopetalum* y *S. jujuyense* (Zardini, 1971).



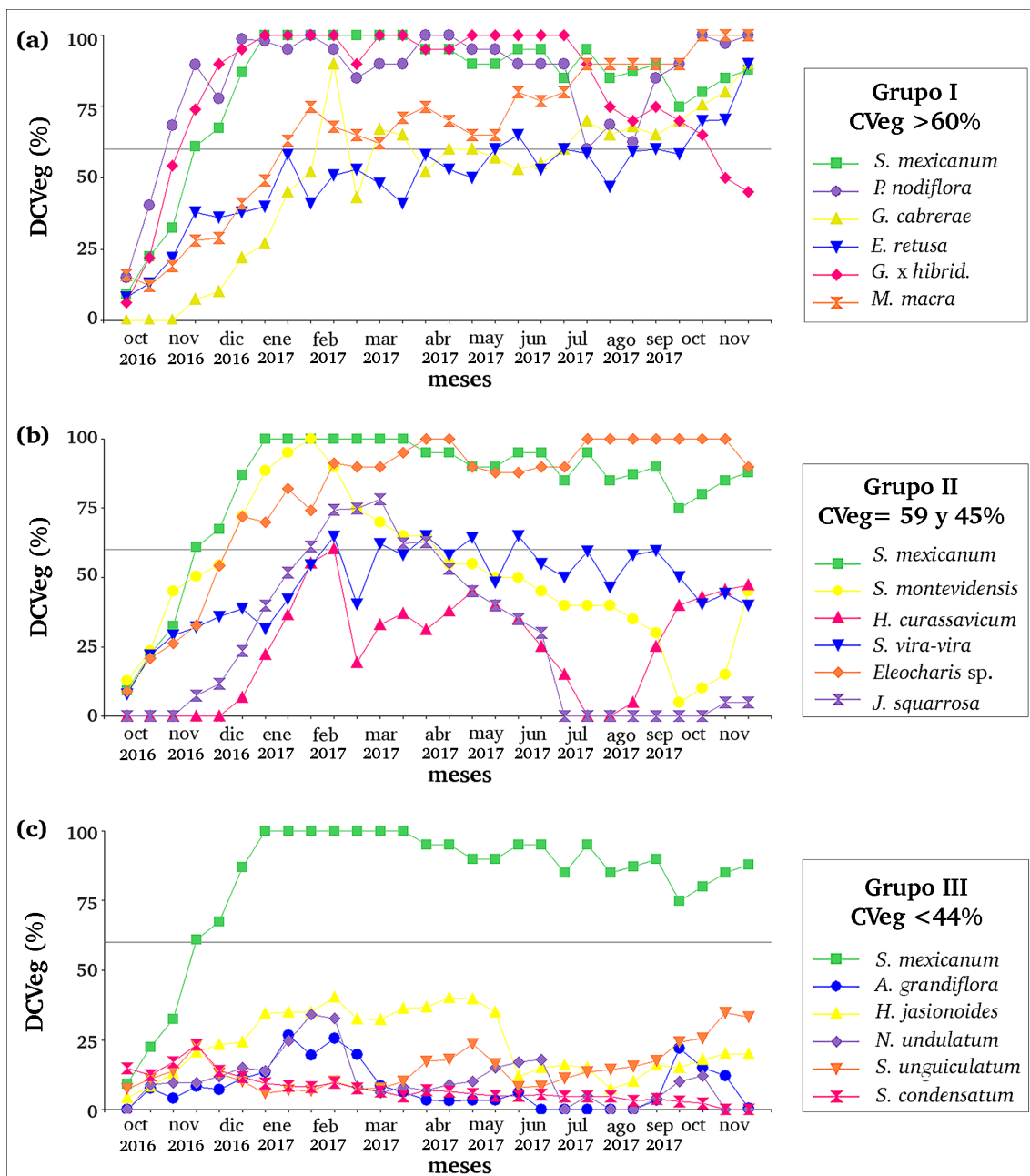
**Figura Suplementaria 2.31** *S. mexicanum*. (Imagen izquierda); Provincia de Argentina donde se distribuyen las especies autóctonas *S. cymatopetalum* y *S. jujuyense* (Imagen derecha) (Fuente: IBODA-CONICET)

**Ciclo de vida y características morfológicas:**

perennes erguidas o rastreras, de hojas suculentas y carnosas, sistema radicular poco desarrollado, flores vistosas y tamaño pequeño (Getter y Rowe, 2006). Las especies se caracterizan por presentar metabolismo fotosintético tipo CAM (Kluge, 1977). Algunas especies, como *S. mexicanum*, pueden comportarse como facultativas, es decir ante condiciones normales pueden absorber carbono durante el día comportándose como C3, mientras que frente a cambios extremos de temperatura absorben carbono durante la noche, confiriéndoles ventaja adaptativa a ambientes en donde el recurso hídrico es escaso (Kluge, 1977).



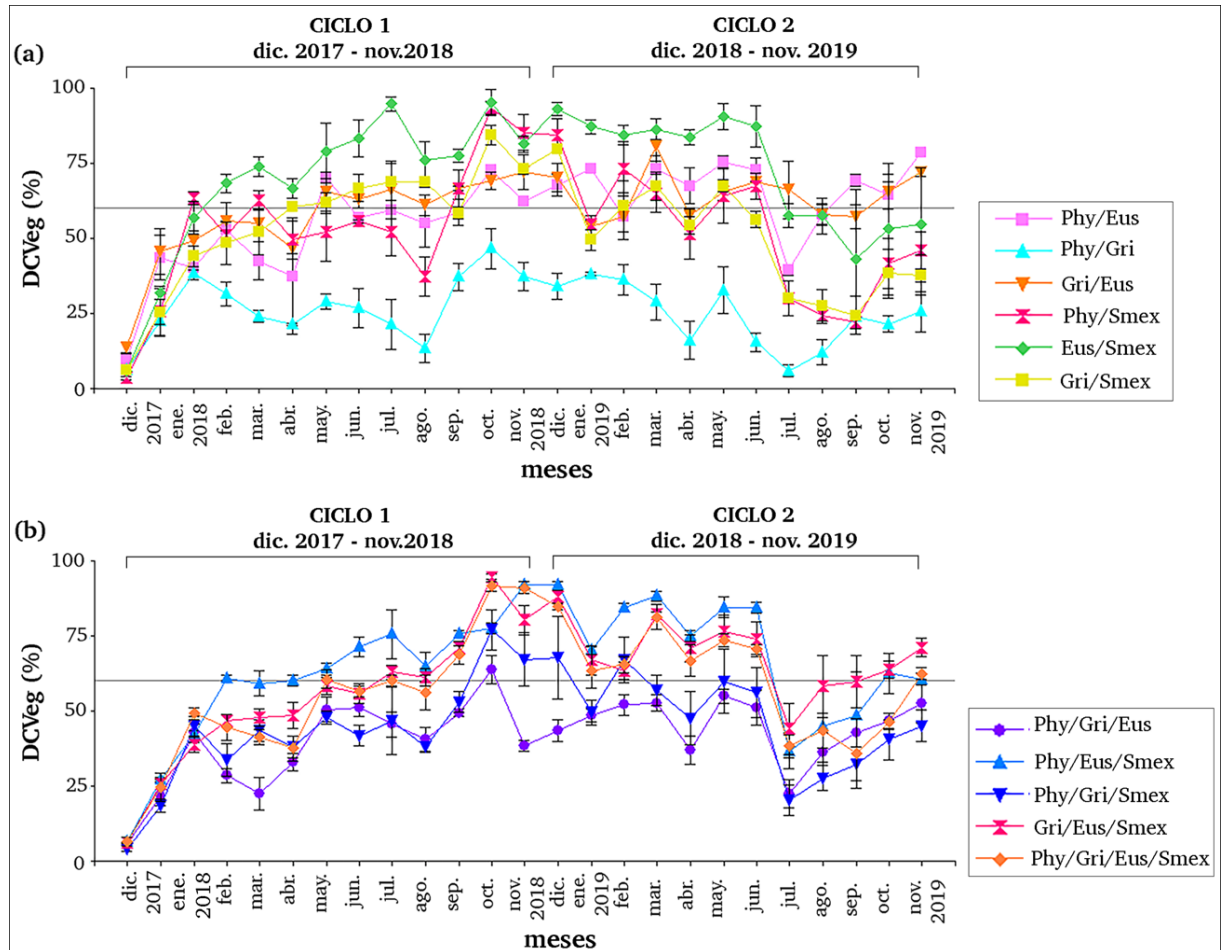
**Figura Suplementaria 2.32** Lámina botánica de *S. mexicanum* (Fuente: INTA)



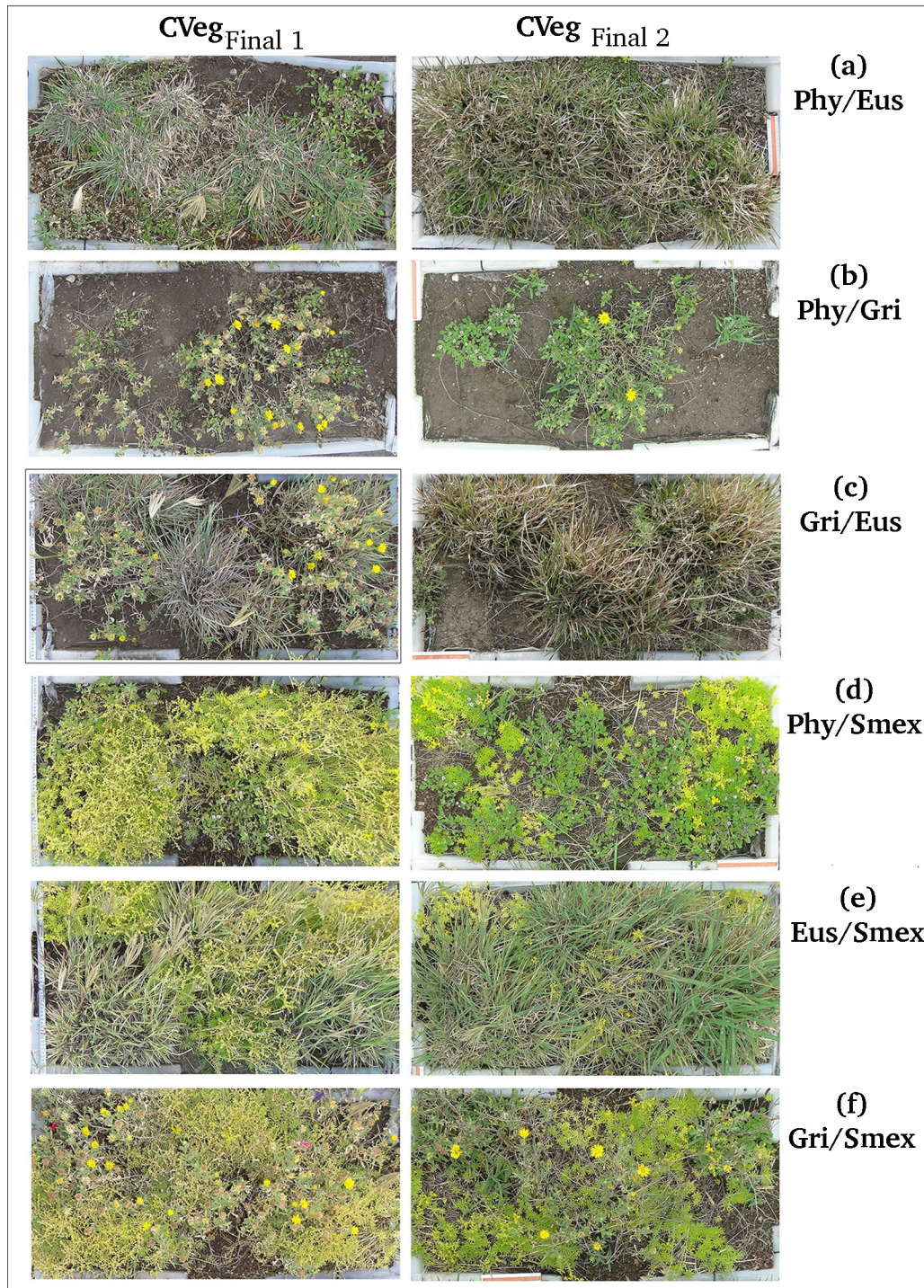
**Figura Suplementaria 2.33** Dinámica de cobertura vegetal de cada especie en monocultivo de octubre 2016 (oct 2016) a noviembre 2017 (nov 2017). **(a)** Grupo I: CVeg > 60 % **(b)** Grupo II entre 59 y 45 % Cveg **(c)** Grupo III: <44% Cveg. Los cortes de línea en el eje Y de los tres gráficos indican la CVeg al 60 %.

## III

## Figuras Suplementarias



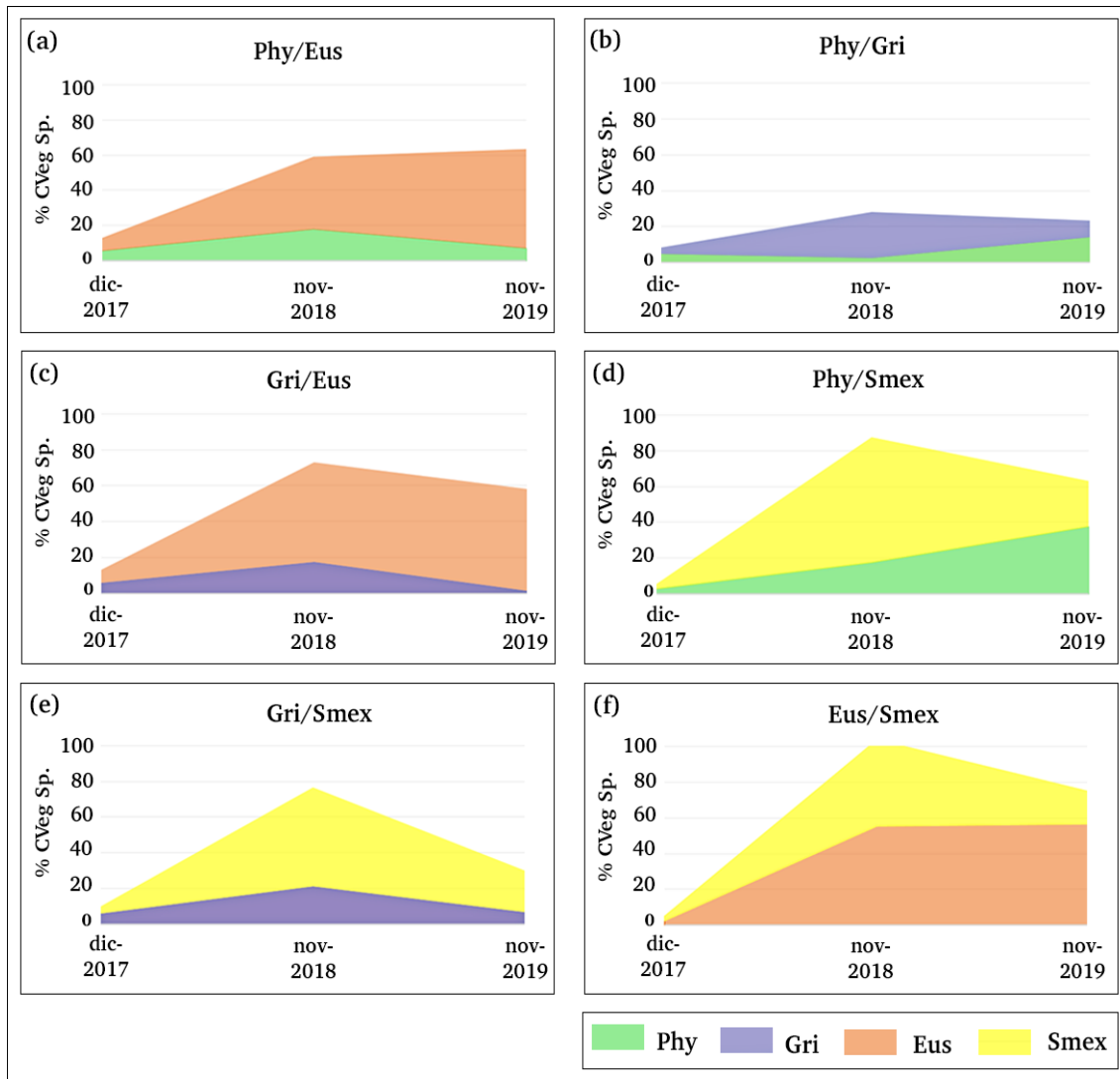
**Figura Suplementaria. 3.1** Gráficos que muestran la dinámica de cobertura vegetal mensual para 11 microcosmos (DCVeg, %) **(a)** Ciclo 1 (desde diciembre 2017 hasta noviembre 2018) **(b)** el Ciclo 2 (desde diciembre 2018 hasta noviembre 2019). A la derecha de ambas imágenes se detallan símbolos (forma y color) asignados a cada uno de los microcosmos. Los cortes de línea en el eje Y indican el % CVeg<sub>Total</sub> al 60 %. Las líneas verticales indican el error estándar.



**Figura Suplementaria 3.2** Fotografías vista desde arriba del cambio en el porcentaje de cobertura vegetal total promedio para microcosmos con especies. Final Ciclo 1: noviembre 2018 (nov-2018); Final Ciclo 2: noviembre 2019 (nov-2019) **(a)** Phy/Eus: Ciclo 1= 59 % y Ciclo 2= 78 % **(b)** Phy/Gri Ciclo 1= 28,3 % y Ciclo 2= 20,2 % **(c)** Gri/Eus Ciclo 1= 72,8 % y Ciclo 2= 74,4 % **(d)** Phy/Smex Ciclo 1= 78,3 % y Ciclo 2= 56 % **(e)** Eus/Smex Ciclo 1= 86,7 % y Ciclo 2= 78 % **(f)** Gri/Smex Ciclo 1= 76,4 % y Ciclo 2= 49 %.



**Figura Suplementaria 3.3** Fotografías vista desde arriba del cambio en la  $CVeg_{Final\ 1}$  promedio para microcosmos con 3 y 4 especies. Ciclo 1 (noviembre 2018); Ciclo 2 (nov-2019) **(a)** Phy/Gri/Eus: Ciclo 1= 40 %, Ciclo 2= 54 % **(b)** Phy/Eus/Smex: Ciclo 1= 90,2 % y Ciclo 2= 64 % **(c)** Phy/Gri/Smex: Ciclo 1= 80,3 % y Ciclo 2= 56 % **(d)** Gri/Eus/Smex: Ciclo 1= 72,1 % y Ciclo 2= 66 % y **(e)** Phy/Gri/Eus/Smex: Ciclo 1= 87 % y Ciclo 2= 66 %.



**Figura Suplementaria 3.4** Cobertura vegetal individual ( $CVeg_{Ind.}$ , %) por microcosmos de 2 especies de acuerdo a la escala Domin-Krajina (Bates et al., 2013). Fechas noviembre 2018 (final Ciclo 1) y noviembre 2019 (final Ciclo 2).



**Figura Suplementaria 3.5** Cobertura vegetal individual ( $CVeg_{ind.}$ , %) en microcosmos de 3 y 4 especies de acuerdo a la escala Domin-Krajina (Bates et al., 2013). Fechas noviembre 2018 (final Ciclo 1) y noviembre 2019 (final Ciclo 2).

## Tablas Suplementarias

**Tabla Suplementaria 3.1** Cobertura vegetal por microcosmos (CVeg<sub>Mic.</sub>, %). CVeg<sub>Mic.</sub> correspondientes al Ciclo 1: de diciembre 2017 (dic-2017) a noviembre 2018 (nov-2018). Phy/Eua; Phy/Gri; Gri/Eus; Phy/Smex; Gri/Smex; Eus/Smex; Phy/Gri/Eus; Phy/Eus/Smex; Phy/Gri/Smex; Gri/Eus/Smex; Gri/Eus; Phy/Gri/Eus/Smex.

Microcosmos	% CVeg <sub>Total</sub> . Ciclo 1: diciembre 2017 a noviembre 2018					
	01 dic-17	29 dic-18	22 ene-18	23 feb-18	21 mar-18	20 abr-18
Phy/Eus	7,64	42,62	36,41	46,79	54,54	46,97
Phy/Eus	6,38	31,19	35,78	56,13	39,66	0
Phy/Eus	13,87	57,16	47,93	55,69	33,06	65,19
Phy/Gri	5,81	14,58	39,21	35,97	20,45	21,84
Phy/Gri	4,99	20,79	35,66	23,71	27,53	20,57
Phy/Gri	7,95	31,85	39,9	34,95	23,99	21,2
Gri/Eus	12,37	47,94	46,48	43,87	51,56	43,44
Gri/Eus	11,37	31,46	56	59,04	58,52	49,8
Gri/Eus	17,48	57,45	45	64,22	55,04	46,62
Phy/Smex	4,4	13,35	59,61	53,81	68,42	53,88
Phy/Smex	2,66	23,22	67,25	48,48	61,86	57,45
Phy/Smex	3,53	40,24	63,01	51,14	57,49	37,17
Eus/Smex	5,89	27,76	67,34	71,76	78,83	72,05
Eus/Smex	5,58	32,53	54,06	71,34	75,55	66,67
Eus/Smex	5,73	35,07	49,32	62,2	67,8	60,76
Gri/Smex	6,89	22,55	49,83	41,48	42,22	58,43
Gri/Smex	4,33	20,08	37,52	41,28	47,15	63,17
Gri/Smex	7,05	33,74	44,85	62,65	66,96	59,59
Phy/Gri/Eus	6,75	18,19	37,47	33,22	31,94	38,25
Phy/Gri/Eus	5,84	19,03	47,89	26,59	22,01	31,59
Phy/Gri/Eus	4,92	27,61	42,68	25,56	13,21	28,98
Phy/Eus/Smex	6,11	28,26	44,02	62,83	51,97	56,99
Phy/Eus/Smex	6,64	27,09	40,63	59,31	66,3	63,46
Phy/Eus/Smex	6,37	26,1	42,32	60,95	59,14	60,24
Phy/Gri/Smex	3,01	14,74	50,12	28,03	36,55	33,67
Phy/Gri/Smex	4,13	22,13	45,58	44,47	48,96	45,39
Phy/Gri/Smex	4,53	18,49	38,79	28,43	44,46	35,49
Gri/Eus/Smex	5,9	23,24	34,9	43,97	45,43	50,13
Gri/Eus/Smex	6,29	24,95	37,66	50,25	53,85	40,46
Gri/Eus/Smex	5,88	28,53	43,53	45,91	44,17	55,01
Phy/Gri/Eus/Smex	4,83	31,41	52,3	47,23	46,03	45,66
Phy/Gri/Eus/Smex	5,66	15,42	49,91	36,07	38,82	31,86
Phy/Gri/Eus/Smex	9,16	26,66	45,2	50,37	39,03	35,42

Microcosmos	Ciclo 1: diciembre 2017 a noviembre 2018						
	23/5/18	29/6/18	27/7/18	17/8/18	28/9/18	29/10/18	23/11/18
Phy/Eus	71,05	54,42	59,4	70,62	63,2	75,15	59,93
Phy/Eus	72,97	57,78	61,91	47,42	62,99	70,42	63,25
Phy/Eus	66,98	58,11	56,88	46,96	50,06	72,78	63,82
Phy/Gri	27,67	15,6	4,56	14,48	28,63	33,38	28,23
Phy/Gri	25,34	37,92	29,32	4,67	39,14	52,82	40,37
Phy/Gri	34,14	26,76	30,18	20,92	43,67	53,49	43,58
Gri/Eus	56,89	60,46	60,88	60,17	62,83	63,58	61,58
Gri/Eus	61,72	60,02	52,85	55,54	58,31	71,45	72,82
Gri/Eus	78,36	68,73	84,76	67,62	78,51	72,55	81,85
Phy/Smex	71,73	55,71	67,1	49,52	68,18	97,8	80,33
Phy/Smex	39,48	56,24	49,9	34,6	65,64	91,8	78,29
Phy/Smex	45,33	54,91	39,62	27,47	66,56	90,95	97,14
Eus/Smex	87,34	94,38	92,88	87,95	79,14	100	80,4
Eus/Smex	89,56	72,71	91,87	69,51	80,24	98,89	86,67
Eus/Smex	60,46	82,95	99,58	71,32	73,42	86,83	77,26
Gri/Smex	66,08	73,7	75,94	71,96	58,55	89,64	72,01
Gri/Smex	55,03	68,89	73,77	67,41	55,1	78,3	70,84
Gri/Smex	64,58	57,94	56,52	66,95	61,82	85,33	76,38
Phy/Gri/Eus	58,28	47,16	39,72	39,04	51,76	69	40,12
Phy/Gri/Eus	48,66	57,13	53,55	48,12	48,21	54,44	34,95
Phy/Gri/Eus	44,3	49,45	43,48	34,62	48,3	68,28	40,03
Phy/Eus/Smex	63,47	66,03	90,66	74,49	78,01	78,12	92,28
Phy/Eus/Smex	61,01	77,51	72,75	60,62	73,53	80,2	93,74
Phy/Eus/Smex	67,73	70,75	63,33	58,93	75,34	73,99	90,5
Phy/Gri/Smex	44,68	34,86	32,92	34,95	47,34	63,71	50,23
Phy/Gri/Smex	52,07	45,79	68,97	39,09	59,45	85,5	80,33
Phy/Gri/Smex	46,85	44,85	38,02	39,56	52,21	81,97	70,93
Gri/Eus/Smex	53,48	51,16	58,5	56,13	68,78	93,67	79,79
Gri/Eus/Smex	63,44	54,55	67,24	61	75,27	94,05	72,11
Gri/Eus/Smex	58,46	62,13	62,87	66,41	69,04	96,45	89,1
Phy/Gri/Eus/Smex	66,33	60,12	61,43	64,28	69,03	94,54	93,39
Phy/Gri/Eus/Smex	55,98	53,39	56,49	45,01	63,21	89,11	87,22
Phy/Gri/Eus/Smex	59,67	56,05	62,19	59,6	74,07	90,87	92,74

\*Continuación Tabla suplementaria 3.2

**Tabla Suplementaria 3.2** Cobertura vegetal por microcosmos (% CVeg<sub>Mic.</sub>). Cielo 2: de diciembre 2018 (dic-2018) a noviembre 2019 (nov-2019). Phy/Eus; Phy/Gri; Gri/Eus; Phy/Smex; Gri/Smex; Eus/Smex; Phy/Gri/Eus; Phy/Eus/Smex; Phy/Gri/Smex; Gri/Eus/Smex; Gri/Eus; Phy/Gri/Eus/Smex.

Microcosmos	Fechas					
	26/12/18	22/1/19	15/2/19	21/3/19	26/4/19	24/5/19
Phy/Eus	72,62	74,37	66,06	76,33	78,39	79,34
Phy/Eus	70,12	70,66	42,12	65,05	58,11	75,55
Phy/Eus	60,67	74,3	64,09	78,39	66,21	71,2
Phy/Gri	28,5	38,12	26,25	23,41	4,36	19,37
Phy/Gri	31,2	38,95	42,08	22,54	17,53	32,78
Phy/Gri	42,43	37,29	40,15	40,68	26,28	46,18
Gri/Eus	61,01	51,58	52,04	75,46	53,56	60,08
Gri/Eus	74,23	49,67	52,36	76,09	61,92	68,41
Gri/Eus	75,53	61,12	67,43	91,14	57,74	68,43
Phy/Smex	94,51	56,27	87,7	76,23	67,91	83
Phy/Smex	83,33	56,06	75,04	64,07	44,13	55,49
Phy/Smex	75,59	51,5	56,71	54,75	42,06	54,43
Eus/Smex	95,98	83,25	85,55	84,32	80,15	91,94
Eus/Smex	94,91	91,34	89,14	93,3	88,52	97,07
Eus/Smex	88,67	87,29	78,48	81,49	82,3	82,74
Gri/Smex	79,35	43,41	47,01	58,76	60,03	70,77
Gri/Smex	77,16	50,17	58,95	67,88	50,57	64,3
Gri/Smex	82,31	55,01	76,27	75,24	52,13	67,63
Phy/Gri/Eus	46,21	47,07	45,17	50,34	30,58	56,09
Phy/Gri/Eus	36,35	45,8	54,14	49,39	46,43	58,54
Phy/Gri/Eus	47,81	52,56	56,85	58,08	33,88	50,12
Phy/Eus/Smex	92,1	67,59	86,71	90,87	75,17	90,57
Phy/Eus/Smex	94,14	71,39	82,32	88,39	78,18	84,62
Phy/Eus/Smex	89,72	71,39	84,52	85,48	71,72	78,61
Phy/Gri/Smex	40,5	41,06	54,3	56,53	44,51	40,59
Phy/Gri/Smex	84,25	52,65	80,54	65,7	64,16	77,75
Phy/Gri/Smex	78,65	54,76	66,51	48,56	34,16	61,55
Gri/Eus/Smex	88,23	72,33	61,45	82,41	77,34	85,03
Gri/Eus/Smex	84,19	71,47	69,03	80,45	72,76	77,64
Gri/Eus/Smex	91,45	56,83	59,39	83,37	62,42	66,87
Phy/Gri/Eus/Smex	84,84	53,6	65,38	81,17	57,87	75,44
Phy/Gri/Eus/Smex	82,95	72,92	60,78	74,1	66,81	69,1

Microcosmos	Ciclo 2: desde diciembre 2018 hasta noviembre 2019					
	24/6/19	20/7/19	26/8/19	20/9/19	25/10/19	22/11/19
Phy/Eus	68,66	40,27	64,4	72,21	69,61	75,83
Phy/Eus	80,58	41,47	55,08	65,37	55,57	81,37
Phy/Eus	69,18	36,23	54,36	70,5	67,82	78,6
Phy/Gri	9,98	2	4,52	23,95	19,32	20,21
Phy/Gri	21,2	6,76	13,27	23,95	27,03	38,76
Phy/Gri	15,05	8,87	18,42	23,95	18,11	17,81
Gri/Eus	69,96	60,88	56,67	55,37	56,98	69,87
Gri/Eus	63,05	52,85	64,88	64,73	63,05	74,4
Gri/Eus	73,01	84,76	52,51	51,45	76,42	72,13
Phy/Smex	75,21	29,12	29,5	26,93	56,41	47,78
Phy/Smex	59,59	29,21	21,17	20,79	41,1	55,89
Phy/Smex	67,4	32,22	22,65	19,09	27,62	34,8
Eus/Smex	88,23	52,74	47,71	83,35	67,77	68,71
Eus/Smex	98,51	65,25	68,4	2,83	81,7	78,01
Eus/Smex	74,88	54,92	56,54	43,09	9,94	17
Gri/Smex	58,68	21,62	20,16	12,15	22,32	26,03
Gri/Smex	50,63	41,14	37,59	34,06	43,36	49,52
Gri/Smex	59,59	27,18	25,34	26,98	49,1	37,77
Phy/Gri/Eus	44,06	16,18	24,37	37	41,5	40,87
Phy/Gri/Eus	62,33	31,86	47,71	51,39	48,48	62,41
Phy/Gri/Eus	46,78	19,66	36,34	39,38	49,94	53,92
Phy/Eus/Smex	85,08	41,94	50,57	58,72	71,13	61,59
Phy/Eus/Smex	87,26	43,67	61,59	66,76	67,15	63,48
Phy/Eus/Smex	80,72	24,63	22,17	20,27	49,27	56,92
Phy/Gri/Smex	46,89	16,13	21,88	22,66	33,27	42,13
Phy/Gri/Smex	72,58	30,41	35,68	41,75	53,8	55,42
Phy/Gri/Smex	48,81	14,22	25,53	32,81	34,37	37,66
Gri/Eus/Smex	79,93	53,42	68,6	69,36	62	76,52
Gri/Eus/Smex	79,19	51,94	68,31	67,83	69,65	65,75
Gri/Eus/Smex	62,51	26,76	37,61	42,31	59,92	71,13
Phy/Gri/Eus/Smex	69,59	43,6	52,71	52,84	51,67	66,33
Phy/Gri/Eus/Smex	68,29	31,16	45,24	40,82	45,41	60,9
Phy/Gri/Eus/Smex	73,6	39,96	32,4	13,88	42,57	60,05
Phy/Gri/Eus/Smex	86,88	63,26	70,32	88,71	75,76	76,16

\*continuación Tabla suplementaria 3.3

**Tabla Suplementaria 3.3** Cobertura vegetal por especie (*S. mexicanum*, *P. nodiflora*, *G. cabrerarum* y *E. retusa*) según datos obtenidos del análisis de procesamiento digital de fotografías, y valores correspondientes a la relación del CVeg<sub>Ind.</sub> real con el valor de la Escala Domin-Krajina (Bates et al., 2013).

Microcosmos	Especie	Valor Escala	CVe g <sub>Ind.</sub> dic-2017	CVeg <sub>Ind.</sub> 2018 real	Valor Escala 2018	CVeg media Escala	CVeg <sub>Ind.</sub> 2019 real	Valor Escala 2019	CVeg media Escala
Phy/Eus	Phy	2	2,5	17,98	4	17,5	17,5	4	17,5
	Phy	3	7,5	16,6	4	17,5	4,2	2	2,5
	Phy	s/dato		15,92	4	17,5	0,0	1	0
	Eus	3	7,5	48,2	6	41,5	90,9	8	85
	Eus	3	7,5	45,76	6	41,5	84,3	8	85
	Eus	s/dato		48	6	41,5	0,0	1	0
Phy/Gri	Phy	2	2,5	6,74	2	2,5	13,5	4	17,5
	Phy	3	7,5	7,18	2	2,5	7,6	3	7,5
	Phy	s/dato		6,74	2	2,5	17,0	4	17,5
	Gri	2	2,5	42,8	6	41,5	4,7	2	2,5
	Gri	2	2,5	16,8	4	17,5	13,6	4	17,5
	Gri	s/dato		13,5	4	17,5	5,5	3	7,5
Gri/Eus	Gri	2	2,5	18,02	4	17,5	1,1	2	2,5
	Gri	3	7,5	11,736	4	17,5	4,9	2	2,5
	Gri	3	7,5	19,5	4	17,5	0,0	1	0
	Eus	3	7,5	59,4	7	62,5	90,3	8	85
	Eus	3	7,5	45,22	6	41,5	77,9	8	85
	Eus	3	7,5	55,02	7	62,5	0,0	1	0
Phy/Smex	Phy	2	2,5	13,34	4	17,5	28,0	5	29
	Phy	2	2,5	20,82	4	17,5	40,5	6	41,5
	Phy	2	2,5	19,88	4	17,5	43,2	6	41,5
	Smex	2	2,5	74,76	7	62,5	14,8	4	17,5
	Smex	2	2,5	74,4	7	62,5	37,2	6	41,6
	Smex	2	2,5	82,76	8	85	22,8	4	17,5
Eus/Smex	Eus	2	2,5	59,74	7	62,5	0,0	1	0
	Eus	2	2,5	50,28	7	62,5	94,4	8	85
	Eus	2	2,5	40,38	6	41,5	82,0	8	85
	Smex	2	2,5	45,58	6	41,5	27,6	5	29
	Smex	2	2,5	34,392	6	41,5	21,3	4	17,5
	Smex	2	2,5	51,2	7	62,5	9,8	3	7,5
Gri/Smex	Gri	3	7,5	27,46	5	29	13,9	4	17,5
	Gri	3	7,5	15,24	4	17,5	3,0	2	2,5
	Gri	2	2,5	19,38	4	17,5	0,0	1	0
	Smex	2	2,5	59,56	7	62,5	47,0	6	41,5

	Sme <sub>x</sub>	3	7,5	61,2	7	62,5	31,3	5	29
	Sme <sub>x</sub>	2	2,5	48,38	6	41,5	0,0	1	0
<b>Phy/Gri/Eus</b>	Phy	2	2,5	9,012	3	7,5	17,5	4	17,5
	Phy	2	2,5	3,074	2	2,5	11,0	4	17,5
	Phy	2	2,5	3,5	2	2,5	16,5	4	17,5
	Gri	2	2,5	17,48	4	17,5	6,1	3	7,5
	Gri	3	7,5	16,15	4	17,5	1,0	1	0
	Gri	3	7,5	20,31	4	17,5	3,6	2	2,5
	Eus	2	2,5	18,84	4	17,5	46,6	6	41,5
	Eus	3	7,5	24,54	4	17,5	65,5	7	62,5
	Eus	3	7,5	21,87	4	17,5	38,1	6	41,5
<b>Phy/Eus/Smex</b>	Phy	3	7,5	14,62	4	17,5	14,0	4	17,5
	Phy	2	2,5	13,89	4	17,5	26,6	5	29
	Phy	2	2,5	15,14	4	17,5	14,7	4	17,5
	Eus	3	7,5	39,53	6	41,5	47,8	6	41,5
	Eus	3	7,5	34,44	6	41,5	56,5	7	62,5
	Eus	3	7,5	26,42	5	29	59,4	7	62,5
	Sme <sub>x</sub>	3	7,5	51,42	7	62,5	26,5	5	29
	Sme <sub>x</sub>	2	2,5	52,81	7	62,5	18,3	4	17,5
	Sme <sub>x</sub>	2	2,5	47,86	6	41,5	8,6	3	7,5
	<b>Phy/Gri/Smex</b>	Phy	2	2,5	5,29	3	7,5	22,3	4
Phy		2	2,5	5,07	3	7,5	37,8	6	41,5
Phy		2	2,5	3,7	2	2,5	25,1	5	29
Gri		2	2,5	8,393	3	7,5	12,3	4	17,5
Gri		2	2,5	11,36	4	17,5	2,7	2	2,5
Gri		2	2,5	19,67	4	17,5	14,7	4	17,5
Sme <sub>x</sub>		2	2,5	31,94	3	29	14,6	4	17,5
Sme <sub>x</sub>		2	2,5	48,867	6	41,5	32,5	5	29
Sme <sub>x</sub>		2	2,5	15,35	4	17,5	5,5	3	7,5
<b>Gri/Eus/Smex</b>		Gri	2	2,5	15,68	4	17,5	1,6	2
	Gri	2	2,5	28,13	5	29	0,5	1	0
	Gri	2	2,5	34,12	6	41,5	4,3	2	2,5
	Eus	2	2,5	11,86	4	17,5	54,3	7	62,5
	Eus	2	2,5	5,16	3	7,5	80,6	8	8
	Eus	2	2,5	8,12	3	7,5	62,3	7	62,5
	Sme <sub>x</sub>	2	2,5	52,61	7	62,5	22,0	4	17,5
	Sme <sub>x</sub>	2	2,5	38,72	6	41,5	12,5	4	17,5

	Sme x	2	2,5	27,3	5	29	17,6	4	17,5
<b>Phy/Gri/Eus/Smex</b>	Phy	2	2,5	5,35	3	7,5	11,3	4	17,5
	Phy	2	2,5	3,76	2	2,5	12,3	4	17,5
	Phy	2	2,5	10,26	4	17,5	22,3	4	17,5
	Gri	2	2,5	11,05	4	17,5	0,0	1	0
	Gri	2	2,5	11,65	4	17,5	11,5	4	17,5
	Gri	2	2,5	6,52	3	7,5	0,0	1	0
	Eus	2	2,5	33,35	5	29	49,1	6	41,5
	Eus	2	2,5	20,11	4	17,5	42,3	6	41,5
	Eus	3	7,5	28,05	5	29	55,8	7	62,5
	Sme x	2	2,5	41,09	6	41,5	41,0	6	41,5
	Sme x	2	2,5	33,02	5	29	37,1	6	41,5
	Sme x	2	2,5	26,74	5	29	32,7	5	29

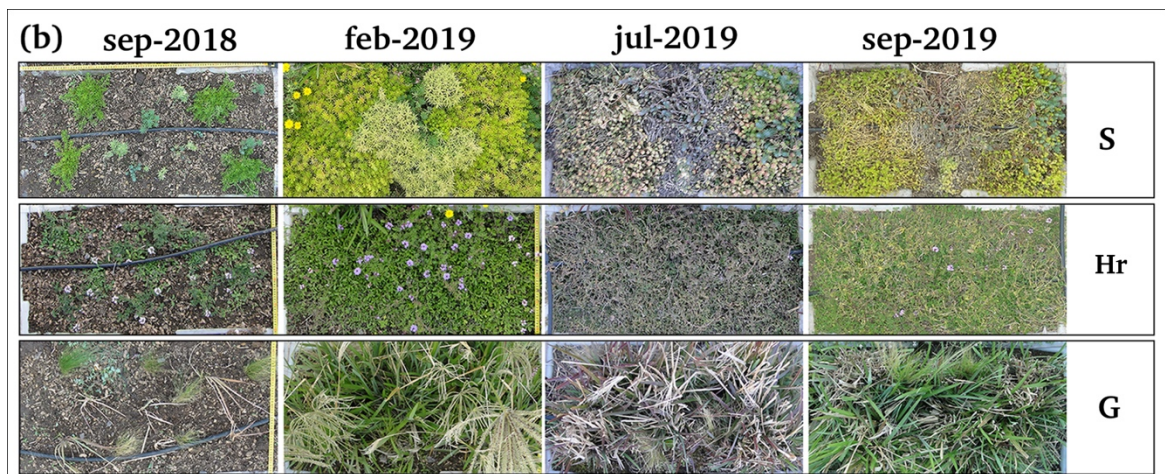
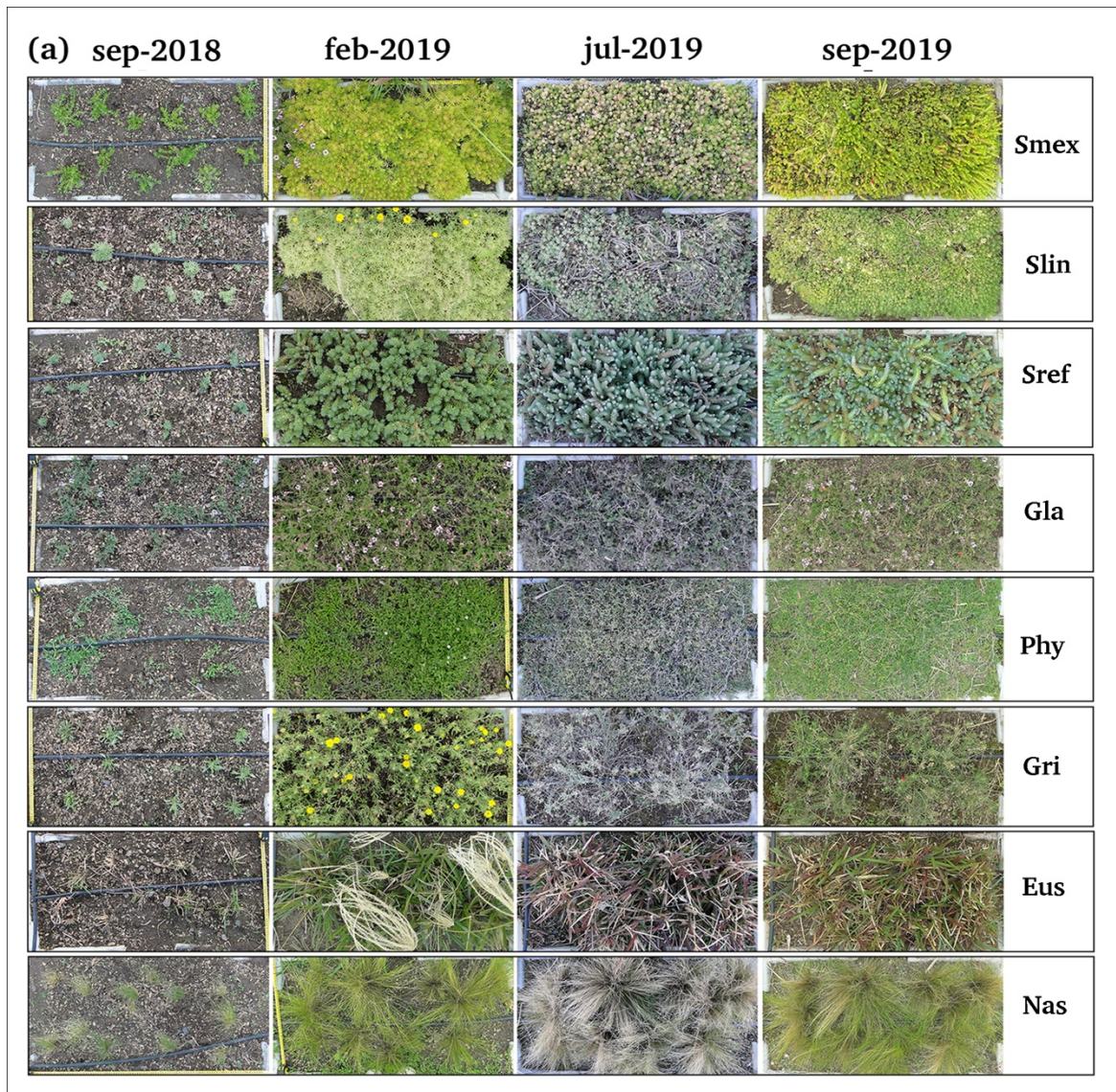
\*continuación Tabla suplementaria 3.4

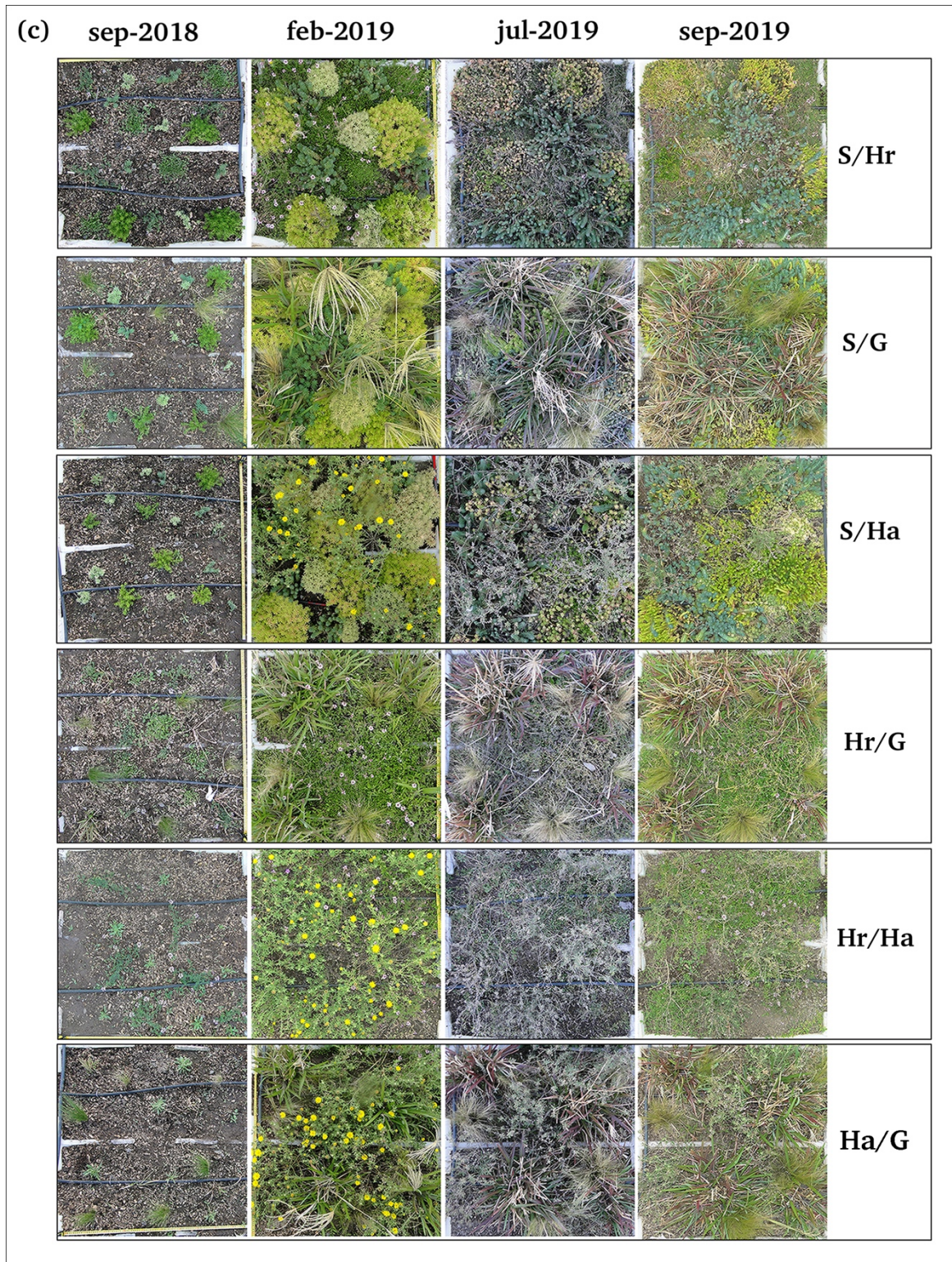
**Tabla Suplementaria 3.4** Supervivencia por microcosmos (n=11, r=3). Fechas: diciembre 2017 (dic-17); noviembre 2018 (nov-18); noviembre 2019 (nov-19). Phy/Eus; Phy/Gri; Gri/Eus; Phy/Smex; Gri/Smex; Eus/Smex; Phy/Gri/Eus; Phy/Eus/Smex; Phy/Gri/Smex; Gri/Eus/Smex; Gri/Eus; Phy/Gri/Eus/Smex.

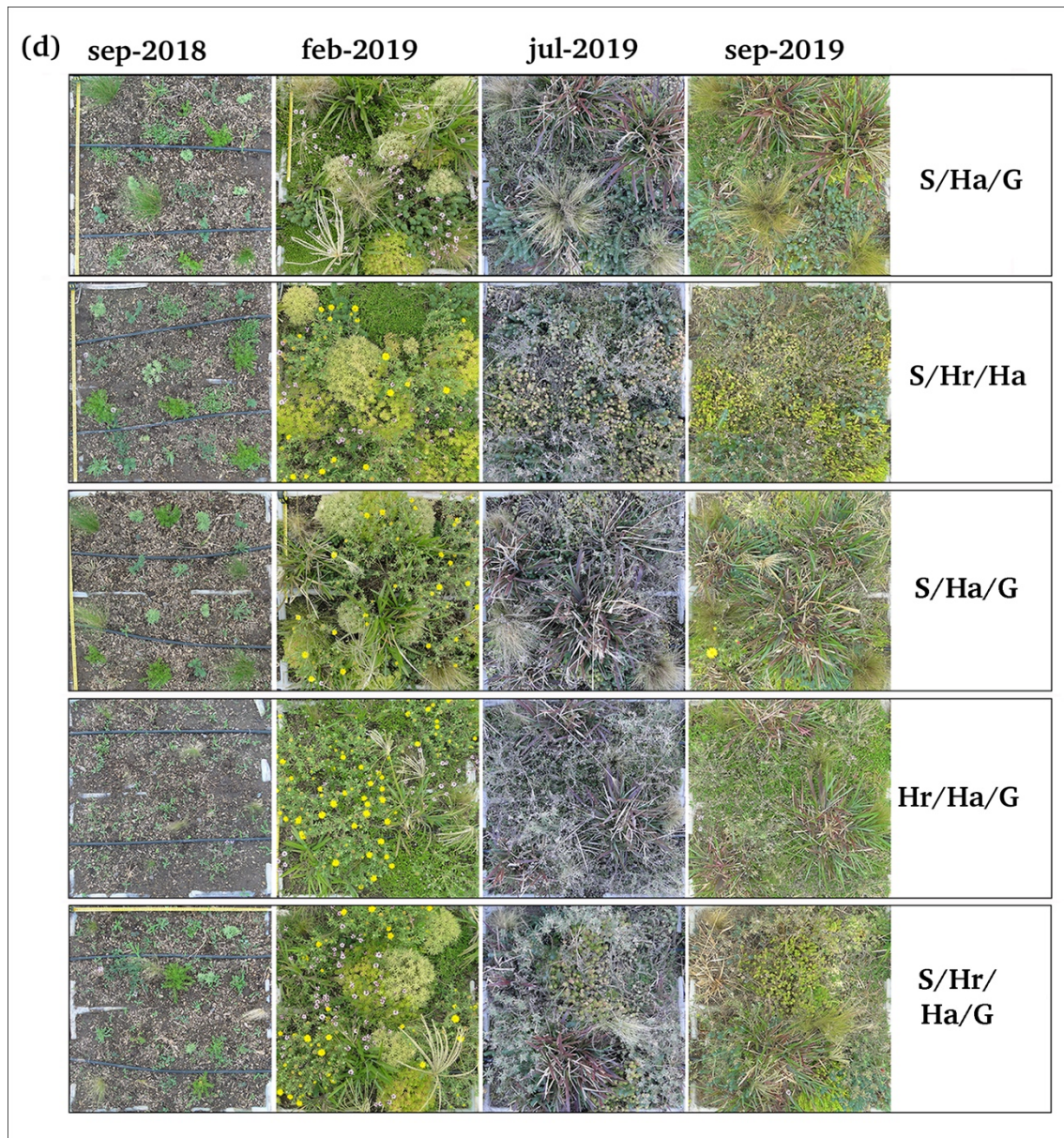
<b>Microcosmos</b>	<b>dic-17</b>	<b>nov-18</b>	<b>nov-19</b>
Phy/Eus	100	87,5	81
Phy/Eus	100	77	76,47
Phy/Eus	100	88,9	88,9
Phy/Gri	100	62,5	43,75
Phy/Gri	100	52,9	47,06
Phy/Gri	100	57,9	31,58
Gri/Eus	100	86,7	40
Gri/Eus	100	75	62,56
Gri/Eus	100	68,4	55,56
Phy/Smex	100	72,2	50
Phy/Smex	100	66,7	44,4
Phy/Smex	100	77,8	55,5
Eus/Smex	100	93,8	18,75
Eus/Smex	100	64,7	70,58
Eus/Smex	100	81,3	50
Gri/Smex	100	88,9	55,56
Gri/Smex	100	83,3	33,3
Gri/Smex	100	87,5	62,5
Phy/Gri/Eus	100	88,8	66,67
Phy/Gri/Eus	100	94,4	77,78
Phy/Gri/Eus	100	100	77,78
Phy/Eus/Smex	100	94,4	88,89
Phy/Eus/Smex	100	90	75
Phy/Eus/Smex	100	100	90
Phy/Gri/Smex	100	66,7	66,67
Phy/Gri/Smex	100	94,4	55,56
Phy/Gri/Smex	100	75	75
Gri/Eus/Smex	100	84,2	73,68
Gri/Eus/Smex	100	94,7	73,68
Gri/Eus/Smex	100	100	73,78
Phy/Gri/Eus/Smex	100	82,6	47,83
Phy/Gri/Eus/Smex	100	91,3	73,91
Phy/Gri/Eus/Smex	100	85,1	70,37

## IV

## Figuras Suplementarias







**Figura suplementaria 4.1** Fotografías de un mismo módulo, vistas desde arriba, donde se observan los cambios en la cobertura vegetal durante el año evaluado de los diferentes tratamientos **(a)** monocultivos (n=8) Smex; Slin; Sref; Gla; Phy; Gri (Ha *en combinación*); Eus; Nas **(b)** microcosmos combinados de a 1 forma de crecimiento (n=3): S; Hr; G **(c)** microcosmos combinados de a 2 formas de crecimiento (n=6): S/Hr; S/G; S/Ha; Hr/G; Hr/Ha; Ha/G **(d)** microcosmos combinados de a 3 y 4 forma de crecimiento (n=5): S/Hr/G; S/Hr/Ha; S/Ha/G; Hr/Ha/G; S/Hr/Ha/G.

## Tablas suplementarias

**Tabla Suplementaria 4.1** Caracteres funcionales de hoja y altura de las especies en condiciones de monocultivo. Smex; Slin; Sref; Gla; Phy; Nas; Eus; Gri.

<b>Mono-cultivos</b>	<b>AF</b>	<b>AFE</b>	<b>CAF</b>	<b>HVeg</b>	<b>MSF</b>	<b>Ln_AF</b>	<b>Ln_AFE</b>	<b>Ln_HVeg</b>	<b>Raíz_MSf</b>	<b>Raíz_CAF</b>
Smex	43,50	0,81	0,76	0,15	66,54	3,77	-0,21	-1,86	8,16	0,87
Smex	50,60	0,58	1,15	0,17	70,81	3,92	-0,55	-1,78	8,41	1,07
Smex	45,30	0,66	0,88	0,14	72,6	3,81	-0,42	-1,95	8,52	0,94
Slin	73,10	1,4	1,04	0,19	47,72	4,29	0,34	-1,65	6,91	1,02
Slin	103,40	1,38	1,26	0,25	55,97	4,64	0,32	-1,39	7,48	1,12
Slin	82,60	1,3	1,34	0,26	45,44	4,41	0,26	-1,34	6,74	1,16
Sref	32,20	0,49	0,77	0,16	79,57	3,47	-0,72	-1,83	8,92	0,88
Sref	30,40	0,5	0,85	0,15	65,97	3,41	-0,69	-1,9	8,12	0,92
Sref	32,50	0,69	0,62	0,14	70,27	3,48	-0,37	-1,98	8,38	0,79
Gla	44,80	0,59	0,11	0,16	415,76	3,8	-0,53	-1,85	20,39	0,33
Gla	72,50	0,63	0,17	0,15	402,78	4,28	-0,47	-1,88	20,07	0,41
Gla	63,40	0,51	0,18	0,15	403,86	4,15	-0,68	-1,86	20,1	0,43
Phy	67,40	0,74	0,24	0,04	278,59	4,21	-0,3	-3,3	16,69	0,49
Phy	78,20	0,44	0,29	0,04	384,33	4,36	-0,83	-3,22	19,6	0,54
Phy	97,40	0,6	0,33	0,06	330,49	4,58	-0,51	-2,9	18,18	0,57
Nas	84,40	0,68	0,08	0,3	611,27	4,44	-0,39	-1,19	24,72	0,28
Nas	50,80	0,36	0,1	0,39	600	3,93	-1,03	-0,94	24,49	0,31
Nas	67,60	0,33	0,12	0,35	643,17	4,21	-1,12	-1,05	25,36	0,34
Eus	1606,60	1,06	3	0,3	335,04	7,38	0,06	-1,21	18,3	1,73
Eus	1710,70	1,03	3,44	0,3	325,51	7,44	0,03	-1,21	18,04	1,85
Eus	1414,20	0,92	3,2	0,3	325,45	7,25	-0,09	-1,2	18,04	1,79
Gri	129,20	1,05	0,3	0,3	290,07	4,86	0,05	-1,21	17,03	0,55
Gri	104,00	0,91	0,34	0,27	249,56	4,64	-0,09	-1,32	15,8	0,59
Gri	109,90	1,06	0,29	0,27	263,94	4,7	0,06	-1,32	16,25	0,54

Tabla suplementaria 4.2 Cobertura vegetal por microcosmos (CVeg<sub>Mic.</sub>, %) (n= 22; r= 3).

Micro-cosmos	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19
Smex	18,71	59,46	60,99	63,86	97,12	94,38	89,00	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,
Smex	17,14	95,13	98,57	98,92	100,0	98,40	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,
Smex	18,34	69,69	70,13	86,95	94,58	100,0	94,50	98,39	100,0	98,00	100,0	100,	100,
Slin	7,19	42,75	49,63	62,90	90,08	s/dato	87,37	85,00	92,71	85,38	87,71	70,28	95,39
Slin	8,42	41,26	50,96	63,80	86,92	89,68	89,07	92,61	86,60	42,05	73,34	99,23	75,660
Slin	5,66	30,71	39,69	44,95	77,99	87,10	91,44	88,80	98,01	93,77	82,66	92,11	98,230
Srefl	4,890	21,380	21,090	31,380	65,900	85,310	91,790	92,680	90,790	92,100	96,580	95,380	97,590
Srefl	3,730	16,850	18,220	28,380	58,050	67,670	71,750	80,440	88,650	78,430	87,000	87,230	82,750
Srefl	1,560	4,950	5,970	11,390	29,050	38,310	49,650	60,350	70,590	85,270	70,160	74,500	80,510
Gla	17,080	s/dato	53,950	58,470	61,290	75,360	74,980	47,370	86,310	76,340	78,420	62,250	77,640
Gla	10,080	40,320	52,940	45,820	57,130	67,780	45,460	64,570	47,800	52,150	53,210	51,490	71,400
Gla	14,160	52,450	53,450	56,130	65,450	62,220	41,380	47,370	41,960	64,250	20,980	25,780	48,700
Phy	12,390	59,310	s/dato	66,070	23,400	67,060	77,640	100,0	100,00	100,00	96,000	97,910	97,460
Phy	4,150	21,010	25,410	44,640	41,800	80,400	98,720	98,550	100,00	100,00	99,300	90,000	97,000
Phy	5,590	72,140	57,200	46,650	53,470	82,860	98,160	98,540	98,000	100,00	95,650	90,000	95,000
Eus	5,800	24,490	42,370	71,850	80,030	79,992	80,800	84,910	93,160	85,810	84,770	85,930	86,680
Eus	4,000	20,370	22,730	39,960	76,330	79,610	78,130	67,210	74,350	90,260	78,320	76,200	91,970
Eus	2,810	9,530	16,250	37,340	79,530	59,280	71,790	91,090	80,230	94,710	83,51	86,290	94,130
Nas	18,690	30,950	25,240	28,520	36,540	43,330	64,720	69,270	68,540	80,040	71,940	75,440	78,360
Nas	9,830	16,930	12,860	17,870	22,170	37,450	55,020	63,290	66,930	74,150	74,76	73,780	79,960
Nas	7,980	9,500	9,140	9,150	14,260	s/dato	22,830	24,140	28,720	24,500	29,99	34,700	39,550
Gri	2,250	36,140	30,940	39,860	40,340	59,480	51,930	s/dato	s/dato	s/dato	25,000	s/dato	40,620
Gri	3,410	41,320	33,760	44,660	62,770	61,640	58,990	40,900	59,930	75,510	30,000	25,550	53,070
Gri	s/dato	22,720	28,200	42,260	43,930	71,810	58,030	s/dato	40,610	s/dato	20,000	11,680	s/dato
S	22,470	88,550	94,230	87,550	93,140	97,450	100,00	98,000	100,00	98,520	90,000	91,140	93,300
S	7,230	31,160	32,850	47,410	75,170	82,240	80,190	89,930	92,060	91,920	91,120	91,720	93,240
S	s/dato	34,260	s/dato	65,400	84,370	89,080	90,090	100,00	100,00	100,0	92,000	97,670	100,00
Hr	23,620	95,270	88,880	57,320	54,470	90,400	95,480	96,000	99,000	98,400	96,000	96,000	98,000
Hr	11,490	91,000	52,230	63,390	61,110	96,350	100,00	95,000	97,940	98,910	94,000	94,000	100,00
Hr	14,110	86,230	59,350	78,020	49,700	78,350	96,000	98,990	98,000	98,000	95,210	96,710	100,00
G	7,810	32,360	45,150	69,220	80,470	94,880	91,330	93,290	96,240	98,000	92,470	94,640	90,200
G	5,460	31,330	48,290	50,000	59,640	87,420	89,340	96,460	90,550	94,000	95,900	100,00	91,870
G	9,720	31,130	25,980	43,270	80,470	91,270	90,340	s/dato	98,080	98,000	95,910	100,00	97,740
S/Hr	23,090	72,060	46,080	71,130	91,070	94,160	99,000	90,800	95,000	99,000	98,000	95,000	90,000
S/Hr	15,490	74,680	77,780	80,620	84,240	98,740	98,500	100,00	99,400	95,000	95,000	100,00	95,000
S/Hr	9,480	42,940	50,150	75,160	76,690	88,200	98,830	99,200	99,490	99,070	95,000	95,000	90,000
S/G	14,780	50,440	55,520	71,410	90,570	93,910	93,480	97,230	98,440	99,280	s/dato	97,680	90,000
S/G	6,720	40,050	53,880	71,220	82,420	92,980	94,070	98,000	95,370	94,010	95,660	95,060	95,460
S/G	6,860	33,530	s/dato	59,830	84,680	82,920	89,170	s/dato	98,370	97,880	94,540	96,780	95,650
S/Ha	10,260	54,740	56,210	78,930	84,210	91,900	94,670	85,730	87,090	81,800	82,320	78,270	89,400
S/Ha	14,670	64,520	73,730	76,170	79,340	88,350	98,460	90,530	88,020	89,840	92,280	92,120	94,910
S/Ha	5,170	21,780	26,930	40,940	53,380	61,710	86,120	83,350	51,680	53,930	57,950	57,390	69,890
Hr/G	12,770	44,040	39,590	51,340	76,130	80,730	95,000	97,820	98,150	99,630	97,440	97,070	98,960

Hr/G	9,340	64,190	58,900	64,180	79,310	91,450	97,750	99,430	98,000	99,320	98,980	98,460	100,00
Hr/G	8,370	38,520	49,250	51,420	82,490	88,250	96,280	97,630	99,220	98,780	97,320	93,470	98,070
Hr/Ha	10,040	46,810	31,210	55,570	34,000	77,110	91,220	64,840	57,300	45,150	35,180	29,550	54,980
Hr/Ha	7,070	53,500	55,110	41,740	57,940	76,650	86,230	87,870	95,820	85,000	93,890	85,000	97,130
Hr/Ha	4,520	50,430	35,320	49,420	62,150	85,620	88,730	76,870	93,230	94,200	56,880	56,000	93,200
Ha/G	4,730	34,000	39,750	49,140	49,230	62,860	69,140	52,060	49,910	58,400	61,640	61,930	70,130
Ha/G	8,840	59,650	46,420	45,380	63,250	70,880	79,250	60,660	68,950	71,560	77,970	85,370	91,630
Ha/G	2,570	11,320	18,830	39,680	62,190	69,140	82,740	56,360	59,430	58,450	59,600	50,010	67,800
S/Hr/G	14,940	53,760	74,610	86,980	90,160	96,910	97,990	98,580	97,180	95,990	95,890	96,690	97,560
S/Hr/G	14,420	57,960	60,350	80,220	95,080	94,950	99,040	99,630	97,570	98,680	97,170	92,000	91,480
S/Hr/G	14,260	66,530	79,070	75,030	100,00	95,390	97,990	97,280	s/dato	97,280	98,500	96,880	98,140
S/Hr/ Ha	20,270	89,970	69,720	75,440	93,260	97,860	98,680	100,00	99,240	97,030	97,700	96,780	97,050
S/Hr/ Ha	17,290	78,620	77,870	74,230	90,510	98,070	98,940	99,340	99,530	98,130	98,240	95,700	97,890
S/Hr/ Ha	13,640	75,040	75,040	75,660	93,490	94,760	97,090	95,000	98,780	98,630	97,150	95,680	99,330
S/Ha/G	10,930	41,260	42,060	63,350	79,410	s/dato	83,410	93,590	80,930	81,630	79,040	88,040	91,310
S/Ha/G	10,930	56,280	56,800	68,920	73,850	77,240	88,700	86,480	83,320	s/dato	87,220	86,070	90,500
S/Ha/G	7,530	35,540	39,870	52,590	70,400	85,320	s/dato	87,970	90,490	94,980	89,620	88,060	95,920
Hr/H/G	15,020	73,810	59,430	87,150	80,460	93,250	95,760	98,790	99,110	99,400	99,760	99,020	99,750
Hr/H/G	16,630	59,430	82,250	73,430	81,340	96,210	97,080	99,120	99,430	99,500	99,360	99,360	99,330
Hr/H/G	4,770	25,590	40,320	54,350	81,560	95,690	82,990	95,120	98,230	97,770	94,890	93,470	98,870
S/Hr/ G/Ha	22,730	82,510	78,170	88,690	94,570	98,670	98,880	99,650	99,750	87,000	98,880	99,690	99,590
S/Hr/ G/Ha	21,220	79,520	78,670	93,020	88,770	97,910	99,620	99,860	99,940	98,000	99,130	99,000	99,000
S/Hr/ G/Ha	17,510	81,030	67,690	86,650	89,790	95,540	97,770	99,510	99,000	98,200	99,420	99,000	99,000

\*Continuación Tabla Suplementaria 4.2

**Tabla Suplementaria 4.3** Índice de desempeño vegetal para cubiertas vegetadas (IDVCV). Valores usados para confección del índice: porcentaje de cobertura vegetal (CVeg, %), Incremento en el crecimiento (ICr.), y coeficientes de variación para cada variable (CVa CVeg; CVa ICr.).

<b>Microcosmos</b>	<b>CVeg<sub>Final</sub></b>	<b>CVa CVeg</b>	<b>ICr.</b>	<b>CVa ICr.</b>
Hr/G	99,01	4,07	88,87	10,57
Phy	96,49	3,15	89,1	10,02
Smex	100	3,85	81,97	4,47
G	93,27	0,34	85,6	3,1
S/Hr/Ha	98,09	1,18	81,03	5,51
S/Hr/Ha/G	99,2	3,43	78,73	9,29
Eus	90,93	3,16	86,73	5,88
S/Hr/G	95,73	15,52	81,2	11,58
S/Ha/G	92,58	1,16	82,8	9,06
Hr/Ha/G	99,32	0,97	87,17	2,66
Hr	99,33	0,44	82,93	6,98
S/G	93,71	28,47	84,23	34,41
S	95,52	4,24	80,67	3,37
S/Hr	91,67	17,17	75,63	14,2
Sref	86,95	4,22	83,57	6,13
Slin	89,76	23,1	82,67	29,3
S/Ha	84,74	18,78	74,67	18,14
Ha/G	76,52	34,7	71,13	37,02
Hr/Ha	81,77	1,36	74,57	4,38
Nas	65,96	0	53,8	1
Gla	65,91	13,7	52,13	16,38
Gri	46,84	10,67	44,05	9,47