



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados



**ESPECIES HERBÁCEAS NATIVAS: APORTES PARA SU
CULTIVO COMO COBERTURAS VEGETALES EN
VIÑEDOS BAJO RIEGO EN MENDOZA**

**ESTUDIOS DE INTERCAMBIO GASEOSO, EFICIENCIA HÍDRICA
Y POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LIXIVIADOS**

Ernesto M. Uliarte

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2013

**ESPECIES HERBÁCEAS NATIVAS: APORTES PARA SU
CULTIVO COMO COBERTURAS VEGETALES EN
VIÑEDOS BAJO RIEGO EN MENDOZA**

**ESTUDIOS DE INTERCAMBIO GASEOSO, EFICIENCIA HÍDRICA
Y POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LIXIVIADOS**

Ernesto M. Uliarte

Comisión Asesora de Tesis

Director: Ing. Agr. (Ph.D.) Carlos Alberto Parera

Asesores: Ing. Agr. (M.Sc.) Esteban Emilio Alessandria
Ing. Agr. (Dr.) Antonio Daniel Dalmaso
Ing. Agr. (Ph.D.) Hans Reiner Schultz (hasta septiembre de 2011)

Tribunal Examinador de Tesis

Ing. Agr. (Dr.) Antonio D. Dalmaso

Ing. Agr. (Dr.) Carlos B. Passera

Ing. Agr. (Dr.) Marcos S. Karlin

Presentación formal académica

26 de julio de 2013

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de Córdoba

AGRADECIMIENTOS

La materialización del proyecto de investigación fue posible gracias a una beca de capacitación de postgrado otorgada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Además, parte del presente trabajo se concretó con el financiamiento de una beca otorgada por el Deutscher Akademischer Austausch Dienst (DAAD) y el Ministerio de Educación del Gobierno Argentino.

Reconocimiento para mi Director de tesis, Dr. Carlos Parera por su generosa colaboración para llevar adelante el proyecto y para mis Asesores de tesis: M.Sc. Esteban Alessandria, Dr. Hans Schultz y Dr. Antonio Dalmaso, por sus valiosos aportes a la mejora del trabajo de tesis. Al Director de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza de INTA, Dr. José Gudiño, por haber apoyado la propuesta. Especial agradecimiento para el Ing. Raúl del Monte por su consejo y apoyo permanente.

Para Verónica Rodríguez, Florencia Ferrari, Marcos Bonada, Marcos Montoya, Juan Guarise, Alejandro Ambrogetti, Ariel Porro, Pedro Díaz y Gerardo Montoya por su apreciable asistencia cotidiana.

Para Manfred Stoll y Georg Meissner por su generosa ayuda y amistad. A Alexander Geib por haberme transmitido su significativa experiencia en la temática, a Christian Frings por su enorme apoyo técnico, a Bernhard Gaubatz por su apoyo logístico, a Henriette Lehmann y Franz-Emil Rückert por su amable colaboración. En general, para todo el personal del Fachgebiet Weinbau perteneciente al Forschungsanstalt Geisenheim, que de alguna u otra manera colaboró desinteresadamente para la ejecución de uno de los ensayos.

A los Dres. Alejandro Tapia y Gabriela Feresin, del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de San Juan, por sus recomendaciones respecto del estudio de sustancias naturales. A Martín Fanzone (Laboratorio Aromas; EEA Mza INTA), Mario Gomez y Javier Torres (Laboratorio Fitofarmacia; EEA Mza INTA) por el asesoramiento específico en técnicas de laboratorio. Al Ing. Germán Babelis del Laboratorio de Suelos y

Agua de la EEA San Juan INTA, al Ing. José Maffei del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo y a la Ing. Laura Martínez del Laboratorio de Suelos de la EEA Mendoza INTA, por su colaboración en el análisis de suelos y sustratos.

A los Ings. Agrs. Martín Ariza, Sergio Rinaldi y Darío Dalla Torre, por su generosa cooperación en las parcelas de seguimiento en viñedos de fincas comerciales, las cuales fueron puestas al servicio de la investigación.

DEDICATORIA

A MI COMPAÑERA CAROLINA Y NUESTRO AMORCITO VIOLETA

A NUESTRO ANGELITO DE LA GUARDA ANITA

A MIS QUERIDOS VIEJOS

RESUMEN

Los cultivos de cobertura son utilizados dentro del manejo de suelo en viñedos como una herramienta ambientalmente sostenible con diversos objetivos. Mientras que las coberturas verdes contribuyen al secuestro y almacenamiento de carbono edáfico, una de sus mayores limitantes consiste en el consumo extra de agua. Las coberturas vegetales con especies herbáceas nativas, adaptadas a condiciones de baja disponibilidad hídrica, pueden ser una alternativa factible de establecer en cultivos perennes bajo riego localizado. El objetivo del estudio fue evaluar los atributos más relevantes de gramíneas nativas propuestas como cultivos de cobertura en viñedos, entre ellos la utilización eficiente del agua, la fijación de dióxido de carbono y sus potenciales efectos alelopáticos. Se identificaron seis especies nativas predominantes en tres zonas vitivinícolas de Mendoza. Las especies autóctonas *Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Setaria mendocina*, *Pappophorum caespitosum*, *Sporobolus cryptandrus* y *Nassella tenuis* fueron comparadas con especies exóticas cultivadas (*Trifolium repens*, *Festuca arundinacea* y *Secale cereale*) y malezas (*Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon*). Los estudios de intercambio gaseoso mediante cámara abierta para canopia diferenciaron el comportamiento de distintas especies y alternativas de labranza. En Luján de Cuyo, Mendoza, con clima caluroso, de sequía moderada y noches frías, se estableció un ensayo en macetas con diseño experimental completamente aleatorizado con 12 tratamientos y 5 repeticiones. Se determinó consumo hídrico por el método gravimétrico e intercambio gaseoso a nivel de planta entera. Se evaluó el potencial alelopático de los lixiviados de diferentes coberturas vegetales. La comparación de medias se efectuó mediante ANAVA y prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Las especies tipo C₄ presentaron menor consumo hídrico y mayor eficiencia en el uso del agua en condiciones de restricción hídrica y temperatura elevada. A pesar de reducir su fijación de dióxido de carbono, ésta disminuyó comparativamente menos que su evapotranspiración. Durante una jornada estival en condiciones de experimentación en macetas, una especie nativa tipo C₄ (*D. californica*) asimiló hasta 4 g CO₂ m⁻² día⁻¹, en comparación con una emisión de 2 a 5 g CO₂ generada por el suelo descubierto y una especie perenne tipo C₃ (*F. arundinacea*), respectivamente. Los resultados obtenidos pueden servir de base para efectuar una estimación más precisa de las huellas de carbono e hídrica en frutales. El agua de lixiviado de los diferentes cultivos de cobertura no afectó el crecimiento de plantas jóvenes de vid creciendo en macetas. Sin embargo, se encontró una interacción entre las especies y el suelo, mediante la cual el balance de nutrientes fue alterado de manera positiva o negativa, dependiendo del tipo de cultivo de cobertura. Dentro del contexto de elevada temperatura y escasez de agua, según lo predicho para la zona Centro-Oeste de la Argentina, las especies herbáceas nativas tipo C₄ surgen con mayores probabilidades de éxito como cultivos de cobertura en viñedos con riego localizado. En comparación con cultivos introducidos, las especies C₄ hacen un uso más eficiente del agua en condiciones naturales de sequía durante los meses de verano. Por el contrario, especies nativas tipo C₃ con ciclo de crecimiento invernal (ej.: *N. tenuis*) emergen como una opción en situaciones donde es deseable una mínima competencia con la vid durante los meses de primavera.

Palabras clave: coberturas vegetales - gramíneas nativas - intercambio gaseoso - eficiencia hídrica - alelopatía

ABSTRACT

Cover crops have been largely used in the soil management of vineyards as an environmentally sustainable tool for diverse purposes. While cover crops contribute to soil carbon sequestration and storage, one of their major limitations is the extra amount of water that they use. Cover crops with native grass species adapted to low water availability conditions may be a feasible alternative in perennial crops under drip irrigation. The aim of the study was to evaluate the most relevant traits of native grasses proposed as cover crops in vineyards, including water use efficiency, carbon dioxide fixation and potential allelopathic effects. Six predominant native species were identified in three wine regions of Mendoza, Argentina. Indigenous species of *Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Setaria mendocina*, *Pappophorum caespitosum*, *Sporobolus cryptandrus* and *Nassella tenuis* were compared with introduced crop species (*Trifolium repens*, *Festuca arundinacea* and *Secale cereale*) and weeds (*Sorghum halepense* and *Cynodon dactylon*). Gas exchange studies using an open canopy chamber differentiated the behavior of the different species and tillage alternatives. In Luján de Cuyo, Mendoza, with a warm climate, moderate drought and cold nights, a pot trial was established with completely randomized design including 12 treatments and 5 replicates. Water consumption by the gravimetric method and gas exchange at the level of whole plant were measured. The allelopathic potential of leachate from the different cover crops was also assessed. Comparison of means was performed by ANOVA and Tukey test ($\alpha=0.05$). C₄ species had lower water consumption and higher water use efficiency under elevated temperature and water restriction, because its evapotranspiration decreased proportionally more than the carbon dioxide fixation. During a summer day in experimental conditions in pots, a native C₄ species (*D. californica*) assimilate up to 4 g CO₂ m⁻² day⁻¹, compared with an emission of 2-5 g CO₂ generated by bare soil and a perennial C₃ type (*F. arundinacea*), respectively. The results could be used as a baseline to perform a more accurate estimation of carbon and water footprints in orchards. Water leaching of different cover crops did not affect the growth of young vines growing in pots. However, an interaction between the species and soil was found whereby the balance of nutrients in the soil was altered by the type of cover crop. Within the context of elevated temperature and water scarcity, as predicted for the Central-West of Argentina, native herbaceous C₄ type species emerge most likely to succeed as cover crops in drip-irrigated vineyards. Compared with introduced crops, C₄ species make a more efficient use of water under natural dry conditions during summer months. On the contrary, native C₃ type species with winter growing cycle (e.g.: *N. tenuis*) emerge as an option in situations where minimum competition is desirable with the vine during the spring months.

Keywords: cover crops - native grasses - gas exchange - water use efficiency - allelopathy

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Coberturas vegetales en viñedos	1
Recurso hídrico	5
Especies herbáceas nativas	7
Potencial efecto alelopático	9
Hipótesis de trabajo	11
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES	13
Sitios de observación	14
Selección y caracterización de las especies nativas y exóticas utilizadas como cultivos de cobertura	18
Especies nativas	18
Especies exóticas cultivadas y malezas	20
Descripción general de las experiencias	21
Estudios de campo	21
Estudios en macetas	21
Estudios en invernáculo y cámara de germinación	22
CAPÍTULO 3. DINÁMICA ESTACIONAL DEL INTERCAMBIO GASEOSO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y DEL SUELO CON DIFERENTES LABRANZAS	23
Introducción	23
Hipótesis, objetivo general y objetivos específicos	25
Materiales y métodos	25
Sitio experimental	25
Especies bajo estudio	28
Caracterización de las coberturas vegetales	29
Monitoreo del agua en el suelo	29
Mediciones de intercambio gaseoso	30

Técnicas estadísticas	33
Resultados	34
Cobertura vegetal	34
Contenido de agua en el suelo	36
Tasa de evapotranspiración	37
Tasas de asimilación o emisión de dióxido de carbono	42
Eficiencia en el uso del agua	47
Discusión	48
Cobertura vegetal	48
Contenido de agua en el suelo	49
Tasa de evapotranspiración	50
Tasas de asimilación o emisión de dióxido de carbono	51
Eficiencia en el uso del agua	53
Conclusiones	54
CAPÍTULO 4. INTERCAMBIO GASEOSO Y EFICIENCIA HÍDRICA DE CULTIVOS DE COBERTURA DE ESPECIES NATIVAS, EXÓTICAS CULTIVADAS Y MALEZAS, EN MACETAS	56
Introducción	56
Hipótesis y objetivo	57
Materiales y métodos	57
Sitio y diseño experimental	57
Consumo hídrico y mediciones de intercambio gaseoso	60
Cobertura del suelo y producción de materia seca	63
Técnicas estadísticas	63
Resultados	63
Caracterización de la cobertura vegetal	63
Consumo hídrico de diferentes cultivos de cobertura (método gravimétrico)	67
Intercambio gaseoso a nivel del sistema suelo-planta-atmósfera	75
Discusión	87
Consumo hídrico de las coberturas vegetales	87
Dinámica de la evapotranspiración en el transcurso del año	89

Tasas de intercambio gaseoso	90
Eficiencia en el uso del agua	91
Conclusiones	93
CAPÍTULO 5. POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LIXIVIADOS DE COBERTURAS VEGETALES	95
Introducción	95
Hipótesis	96
Objetivos	97
Materiales y métodos	97
Experimentación de campo	97
Experimentación en invernadero	100
Pruebas de germinación (bioensayos)	101
Análisis estadístico de los resultados	103
Contenido de sustancias alelopáticas en los lixiviados	103
Resultados	104
Experimentación de campo	104
Experimentación en invernadero	107
Pruebas de germinación (bioensayos)	108
Contenido de sustancias alelopáticas en los lixiviados	116
Discusión	116
Conclusiones	120
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES Y PROYECCIONES FUTURAS	121
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA	124
ANEXO 1	135
ESTABLECIMIENTO ESPONTÁNEO DE HERBÁCEAS NATIVAS EN VIÑEDOS BAJO RIEGO LOCALIZADO	
ANEXO 2	139
TIPO DE COBERTURA DE SUELO (%) EN EL SITIO INTERFILAR DE TRES VIÑEDOS BAJO RIEGO POR GOTEÓ, EN DIFERENTES ZONAS VITÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE MENDOZA	
ANEXO 3	141
DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO DE DINÁMICA ESTACIONAL	

DEL INTERCAMBIO GASEOSO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y DEL
SUELO CON DIFERENTES LABRANZAS

ANEXO 4	143
CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DEL FILM UTILIZADO PARA CUBRIR LAS CÁMARAS EXPERIMENTALES	
ANEXO 5	145
DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO DE INTERCAMBIO GASEOSO Y EFICIENCIA HÍDRICA DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA	
ANEXO 6	147
CURVA DE CAPACIDAD HÍDRICA DEL SUSTRATO UTILIZADO EN LAS MACETAS DEL ENSAYO	
ANEXO 7	149
EVOLUCIÓN DEL pH EN EL SUSTRATO DE LAS MACETAS UTILIZADAS EN EL ENSAYO	
ANEXO 8	151
MEDICIONES DE INTERCAMBIO GASEOSO DURANTE LOS MESES DE MARZO Y ABRIL DE 2009	
ANEXO 9	154
EVOLUCIÓN DE LA SALINIDAD EN LAS MACETAS CONTENIENDO LAS PLANTAS DE VID	
ANEXO 10	156
POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LOS LIXIVIADOS DE COBERTURAS VEGETALES SOBRE PLANTAS JÓVENES DE VID CV. MALBEC CRECIENDO EN MACETAS	
ANEXO 11	158
POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LIXIVIADOS DE COBERTURAS VEGETALES EN ESTACAS DE VID CV. MALBEC BAJO INVERNADERO	
ANEXO 12	160
ENSAYO EXPLORATORIO PARA LA ELECCIÓN DE LOS LIXIVIADOS A CONCENTRAR	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Descripción de las tres parcelas de seguimiento	15
Tabla 2.2. Caracterización edáfica de las parcelas en estudio	17
Tabla 2.3. Principales características eco-fisiológicas de las especies nativas estudiadas	19
Tabla 2.4. Principales características eco-fisiológicas de las especies exóticas cultivadas y malezas estudiadas	20
Tabla 3.1. Parámetros climáticos durante los días de monitoreo del intercambio gaseoso (Deutscher Wetterdienst, DWD)	27
Tabla 3.2. Características de las especies estudiadas y de los tratamientos en las parcelas con suelo desnudo	29
Tabla 3.3. Eficiencia en el uso del agua para diferentes coberturas vegetales ($\text{g CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) en diferentes momentos del año	48
Tabla 4.1. Análisis del agua de riego, proveniente de pozo, utilizada para regar las macetas del ensayo	60
Tabla 4.2. Análisis de contrastes ortogonales para la evapotranspiración media diaria por grupo de especie y para diferentes épocas del año	73
Tabla 4.3. Análisis de contrastes ortogonales para la dinámica diaria del intercambio gaseoso en diferentes coberturas vegetales	86
Tabla 4.4. Estimación del balance diario de evapotranspiración y dióxido de carbono para diferentes especies de cobertura vegetal	87
Tabla 5.1. Análisis final de conductividad eléctrica y macronutrientes en sustratos provenientes de plantas jóvenes de vid, creciendo en macetas y regadas por tres temporadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales. Mayo de 2010	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Esquema metodológico del trabajo de tesis	13
Figura 2.2. Ubicación geográfica de los viñedos de seguimiento	15
Figura 2.3. Caracterización climática de la zona vitivinícola del “Este Mendocino”. Estación meteorológica “San Martín, Mendoza” (S.M.N.). Período 1970-2004	16
Figura 2.4. Caracterización climática de la zona vitivinícola del “Zona Alta del Río Mendoza”. Estación meteorológica “Chacras de Coria” (S.M.N.). Período 1970-2004	16
Figura 2.5. Caracterización climática de la zona vitivinícola del “Valle de Uco”. Estación meteorológica “San Carlos” (S.M.N.). Período 1970-2004	17
Figura 2.6. Porcentaje de cobertura de las principales especies del estrato herbáceo en el espacio interfilar de tres viñedos bajo riego por goteo, en diferentes zonas vitícolas de la provincia de Mendoza. Marzo de 2007	19
Figura 3.1. Datos meteorológicos del sitio experimental durante la temporada 2008	26
Figura 3.2. Sistema de cámara abierta para canopia (CPY-3, PP System) modificado en el Instituto de Investigación de Geisenheim y utilizado para las mediciones de intercambio gaseoso	32
Figura 3.3. Pérdida de agua determinada con el equipo EGM4 y el sistema de cámara CPY-3, en recipientes abiertos conteniendo agua o plantas en maceta ubicados dentro de la cámara por períodos de diferente duración, comparada con la pérdida de peso registrada con balanza	33
Figura 3.4. Desarrollo de altura de las plantas (A) y grado de cobertura del suelo (B) de diferentes coberturas vegetales durante el año 2008	35
Figura 3.5. Patrón anual del contenido relativo de agua en el suelo (<i>Cras</i>) de diferentes especies de cobertura vegetal y bajo labranza mínima	37
Figura 3.6. Tasas de evapotranspiración para diferentes especies de cobertura vegetal e intensidades de labranza del suelo, en el transcurso del año 2008	40
Figura 3.7. Tendencias diurnas de evapotranspiración (<i>Evt</i>) para diferentes especies de cobertura vegetal y suelo descubierto, en el transcurso del año 2008	41
Figura 3.8. Tasas de asimilación (-) o emisión (+) de dióxido de carbono para	

diferentes especies de cobertura vegetal e intensidades de labranza, en el transcurso del año 2008	45
Figura 3.9. Tendencias diarias de asimilación (-) o emisión (+) de dióxido de carbono para diferentes especies de cobertura vegetal y suelo descubierto, en el transcurso del año 2008	46
Figura 4.1. Datos meteorológicos del sitio de experimentación, en el transcurso del período de duración del ensayo (estación meteorológica “Chacras de Coria”)	59
Figura 4.2. Relación entre la evaporación en recipientes con agua ubicados en el interior de la cámara y expuestos a diferentes tasas de suministro de aire, bajo demandas evaporativas elevadas y bajas	62
Figura 4.3. Producción total de materia seca por encima de 10 cm de altura de los diferentes cultivos de cobertura creciendo en macetas, discriminada para diferentes períodos del estudio	65
Figura 4.4. Porcentaje de cobertura del suelo en macetas con diferentes coberturas vegetales, discriminado en suelo descubierto, material vegetal seco (rastrojo) y cultivo de cobertura. Años 2009 y 2010	66
Figura 4.5. Evapotranspiración media diaria, para diferentes coberturas vegetales creciendo en macetas, en distintas épocas del año 2009	69
Figura 4.6. Evapotranspiración media diaria, para diferentes coberturas vegetales creciendo en macetas, en verano del año 2010	70
Figura 4.7. Evapotranspiración media diaria por grupo de especie y para diferentes épocas del año	72
Figura 4.8. Evapotranspiración media diaria para los diferentes grupos de especies durante los meses de verano	74
Figura 4.9. Estimación del consumo hídrico anual por grupo de especie, determinado por gravimetría en macetas durante el año 2009 y los tres primeros meses de 2010	75
Figura 4.10. Tasas de evapotranspiración (A y D), asimilación de CO ₂ (B y E) y eficiencia de uso del agua (C y F) para diferentes especies de cobertura vegetal durante el mes de octubre de 2009	80
Figura 4.11. Tasas de evapotranspiración (A y D), asimilación de CO ₂ (B y E) y eficiencia de uso del agua (C y F) para diferentes especies de cobertura vegetal durante el mes de febrero de 2010	81
Figura 4.12. Relación entre tasas de evapotranspiración y tasas de asimilación para diferentes tipos de cobertura vegetal.	82

Figura 4.13. Relación entre la tasa de asimilación y la eficiencia de uso del agua en especies tipo C ₄ , bajo diferentes condiciones de humedad de suelo	83
Figura 4.14. Dinámica diaria de las tasas de evapotranspiración, asimilación de CO ₂ y eficiencia de uso del agua para diferentes especies de cobertura vegetal	85
Figura 5.1. Representación esquemática de la metodología utilizada en el ensayo de campo en macetas	98
Figura 5.2. Vista general del ensayo de campo en macetas, para los estudios del potencial alelopático de los lixiviados de coberturas vegetales sobre plantas jóvenes de vid	99
Figura 5.3. Experimentación en invernadero sobre el potencial alelopático de lixiviados de coberturas vegetales en el crecimiento de estacas de vid	101
Figura 5.4. Test biológicos de germinación de semillas, humedecidas con el lixiviado de diferentes coberturas verdes, en cámara germinadora tipo Jacobsen	103
Figura 5.5. Longitud final de brote y producción de uva en plantas jóvenes de vid creciendo en macetas y regadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales. Temporada 2009/10	105
Figura 5.6. Producción de materia seca, discriminada en madera; vieja y del año y raíces, de plantas jóvenes de vid creciendo en macetas y regadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales por tres temporadas. Junio de 2010	106
Figura 5.7. Área foliar y producción de materia seca, discriminada en brotes y raíces, de estacas de vid creciendo en pequeñas macetas bajo invernadero y regadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales. Abril de 2010	108
Figura 5.8. Efecto del lixiviado de diferentes coberturas vegetales en la germinación, expresada en % respecto de agua destilada, y en la longitud de plántula, discriminada en hipocótilo y radícula, de <i>Lactuca sativa</i> cv. Rapidimor clara. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos 5 días después del tratamiento. Marzo de 2010	109
Figura 5.9. Potencial alelopático de lixiviados de coberturas vegetales en la germinación de semillas (<i>Lactuca sativa</i> cv. Rapidimor clara) sensibles a los aleloquímicos. Germinación y longitud de plántula, discriminada en hipocótilo y radícula. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos 5 días después del tratamiento. Mayo de 2009	110
Figura 5.10. Efecto del lixiviado de diferentes coberturas vegetales en la germinación y en la longitud de plántula, discriminada en hipocótilo y radícula, de <i>Vicia sativa</i> . Ensayo efectuado en macetas con sustrato. Valores obtenidos 7 días	

después del tratamiento. Octubre de 2009	112
Figura 5.11. Efecto del lixiviado de diferentes coberturas vegetales en la germinación y en la longitud de plántula, discriminada en hipocótilo y radícula, de <i>Trifolium repens</i> . Ensayo efectuado en macetas con sustrato. Valores obtenidos 7 días después del tratamiento. Octubre de 2009	113
Figura 5.12. Efecto del lixiviado concentrado de diferentes coberturas vegetales en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> cv. Rapidimor clara. Concentrado 2,5:1, concentrado 5:1 y concentrado 10:1. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos 5 días después del tratamiento. Entre mayo y junio de 2009	114
Figura 5.13. Efecto del lixiviado concentrado de diferentes coberturas vegetales en la longitud de plántula, discriminada en hipocótilo y radícula, de semillas de <i>Lactuca sativa</i> cv. Rapidimor clara. Concentrado 2,5:1, concentrado 5:1 y concentrado 10:1. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos 5 días después del tratamiento. Entre mayo y junio de 2009	115

LISTA DE ABREVIATURAS Y/O SÍMBOLOS

%	por ciento
°C	grados Celsius
*	diferencia significativa
**	diferencia altamente significativa
μ	micrones
μS	micro Siemens
A.C.	antes de Cristo
C ₃	ruta metabólica de tres átomos de carbono
C ₄	ruta metabólica de cuatro átomos de carbono
Ca	calcio
CEA	conductividad eléctrica actual
CEs	conductividad eléctrica del extracto de saturación
<i>cf.</i>	consultar
CIC	capacidad de intercambio catiónico
cm	centímetros
CO ₂	dióxido de carbono
<i>Cras</i>	contenido relativo de agua en el suelo
CRH	con restricción hídrica
d	día
<i>Etp</i>	evapotranspiración potencial
<i>Eua</i>	eficiencia en el uso del agua
<i>Ev</i>	evaporación
<i>Evt</i>	evapotranspiración
g	gramos
h	horas
H.R.	humedad relativa
H ₂ O	agua
has	hectáreas
K	potasio

kg	kilogramos
kPa	kilopascuales
l	litro
m	metros
M.S.	materia seca
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
meq	miliequivalentes
Mg	magnesio
min	minutos
ml	mililitros
mm	milímetros
MO	materia orgánica
N	nitrógeno
n	número de repeticiones
Na	sodio
nm	nanómetros
ns	diferencia no significativa
P	fósforo
pH	actividad del ion hidrógeno
pl	planta
ppm	partes por millón
ρ	probabilidad
RAS	relación de absorción de sodio
SRH	sin restricción hídrica
Tmax	temperatura máxima
Tmin	temperatura mínima
VPD	déficit de presión de vapor
W	watts

INTRODUCCIÓN GENERAL

Coberturas vegetales en viñedos

La utilización de coberturas vegetales es una alternativa de manejo sustentable del suelo en viñedos, asociada a la reducción del uso de herbicidas y prácticas de labranza. Este sistema de manejo consiste en instalar (sembrar) o dejar desarrollar (emergencia espontánea) una cubierta vegetal, de manera temporaria o permanente, en la totalidad o en parte de la superficie de cultivo (Groupe Columa Vigne, 2004). Esta definición incluye el uso de abonos verdes con el objetivo de mejorar la fertilidad del suelo, práctica citada ya en la agricultura de la China antigua (1.134-247 A.C.) y utilizada posteriormente por agricultores griegos y romanos (287-27 A.C.) (Pieters, 1927). En la agricultura europea moderna se ha utilizado tradicionalmente en viñedos en pendiente, con alto riesgo de erosión, y en zonas con elevadas precipitaciones (Böll, 1967a; Böll, 1967b; Colugnati *et al.*, 2006). Algo más reciente es su uso extensivo en áreas con precipitaciones estivales deficientes (Monteiro y Lopes, 2007) y en viñedos de países del denominado “Nuevo Mundo Vitivinícola”, tales como Estados Unidos (Olmstead *et al.*, 2001), Australia (Penfold *et al.*, 2005; Tesic *et al.*, 2007) y Sudáfrica (Fourie *et al.*, 2007a; Fourie *et al.*, 2007b); donde comenzaron a emplearse para mejorar las propiedades del suelo, con el objetivo de almacenar carbono (Steenwerth y Belina, 2008) y en general en sistemas de cultivo sustentable (producciones agroecológicas u orgánicas).

Los suelos de la regiones vitícolas mendocinas poseen en general, bajos contenidos de materia orgánica y pobre estabilidad estructural (Hudson *et al.*, 1990). Sumado a ello, las tradicionales prácticas de manejo de suelo en viñedos y frutales a través de diversos tipos de labranza, o bien mediante la aplicación de herbicidas, han generado graves desequilibrios a nivel edáfico. Mantener el suelo libre de una cobertura vegetal provoca una importante degradación física del suelo, con consecuentes efectos perjudiciales en los cultivos. Los principales efectos producidos son: disminución de la fertilidad, mayor riesgo

de erosión y compactación, disminución de la infiltración y problemas de tracción de la maquinaria agrícola (FAO, 2000).

En los viñedos argentinos, el manejo con coberturas vegetales es una práctica incipiente, pero que está siendo progresivamente difundida. En ese sentido, se han desarrollado en Mendoza diferentes investigaciones sobre el uso de coberturas vegetales en viñedos (del Monte *et al.*, 1994; del Monte *et al.*, 2000; Uliarte *et al.*, 2006; Uliarte *et al.*, 2009a; Uliarte *et al.*, 2009b).

Los cultivos de cobertura se utilizan en agricultura con diversos objetivos:

- Aportar materia orgánica al suelo y poner en disponibilidad nutrientes (Kamh *et al.*, 1999; Steenwerth y Belina, 2008). Aumentar el contenido de nitrógeno cuando se utilizan leguminosas (Sarrantonio, 1995).
- Mejorar la estructura del suelo (Liu *et al.*, 2005), dando lugar a una mejor relación entre las tres fases componentes (aire, agua y partículas del suelo).
- Disminuir la compactación (Morlat y Jacquet, 2003) y aumentar la infiltración del agua en el suelo (Gulick *et al.*, 1994).
- Controlar la escorrentía y la erosión (Derpsch *et al.*, 1986), tanto hídrica como eólica (Langdale *et al.*, 1991).
- Consumir el exceso de agua en el suelo (Monteiro y Lopes, 2007).
- Mejorar la tracción de la maquinaria para poder ingresar anticipadamente al cultivo (Ingels y Klonsky, 1998).
- Aumentar la biodiversidad, proporcionando hábitat para insectos benéficos predadores de plagas (Bugg y Waddington, 1994).
- Controlar nematodos formadores de agallas (McLeod y Steel, 1999; Reynolds *et al.*, 2000)
- Disminuir las pérdidas de nutrientes por lixiviación (Staver y Brinsfield, 1998).
- Controlar malezas no deseables (Teasdale, 1996).
- Reducir la necesidad de utilización de agroquímicos, lo cual ayuda a salvaguardar la salud de las personas (Bowman *et al.*, 1998).

Específicamente en viticultura el manejo con cobertura vegetal puede controlar el excesivo vigor de las plantas y mejorar la calidad de la cosecha, fundamentalmente en variedades tintas de vinificar (Uliarte *et al.*, 2009b). La cobertura verde puede ser usada además para reducir el polvo en los racimos durante la cosecha mecanizada de la uva, el cual genera luego inconvenientes en la elaboración del vino (Danti, com. pers.). Recientemente se han realizado novedosas experiencias utilizando plantas aromáticas en los interfilares de viñedos, con el objetivo de transferir complejidad aromática que permita diferenciar a los vinos (Zalazar, 2012).

Entre las desventajas del uso de una cobertura vegetal se pueden citar el incremento del riesgo de heladas (Donaldson *et al.*, 1993) y la competencia por nutrientes (Celette *et al.*, 2009), la cual en caso de ser demasiado fuerte puede causar defectos aromáticos en vinos blancos (Maigre *et al.*, 1995). No obstante, uno de los mayores perjuicios corresponde al consumo extra de agua en el viñedo (Prichard, 1998; Monteiro y Lopes, 2007), debido a la creciente preocupación por reducir el uso del recurso en la agricultura irrigada (Boutraa, 2010). Se han encontrado diferencias en el consumo hídrico según la especie de cobertura utilizada. Estudios al respecto, demostraron la gran variabilidad en las tasas de transpiración de algunas malezas y cultivos de cobertura presentes en los viñedos (Lopes *et al.*, 2004). Es por ello que el consumo de agua resulta ser también un tema crítico para la elección de las coberturas vegetales (Olmstead *et al.*, 2001; Lopes *et al.*, 2004; Spring y Delabays, 2006; Fourie *et al.*, 2007a).

La utilización de una cobertura verde demanda de un manejo cuidadoso para prevenir la competencia con el cultivo principal, evitar el incremento de plagas y enfermedades o actuar como huésped alternante a plagas de insectos. Se debe considerar asimismo el requerimiento de equipamiento adicional para su manejo (Ingels y Klonsky, 1998) y que en zonas áridas o épocas de sequía pueden constituirse en un riesgo para incendios (Hernández Santiesteban *et al.*, 2009).

En el debate actual sobre los sistemas de producción sostenibles dentro de un clima cambiante, el uso de una cubierta verde comparada con el manejo de suelo descubierto está desempeñando un papel cada vez más importante en el secuestro de carbono en suelos

agrícolas (Hutchinson *et al.*, 2007), que puede contribuir a mitigar las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Lal, 2004). La huella de carbono se define como la medida de la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono que son causadas directa o indirectamente por una actividad o que se acumula en las etapas de la vida de un producto (Wiedmann y Minx, 2008). Existe un protocolo internacional para calcular las emisiones de carbono en la industria vitivinícola, en él se tiene en cuenta la utilización de cultivos de cobertura como fuente de secuestro de carbono en el viñedo (FIVS, 2008).

Existe además un considerable interés por la agricultura sustentable con reducido impacto sobre el medioambiente (Kilcher, 1998) y en la viticultura en particular (Willer, 2008). El manejo de suelo mediante coberturas vegetales es una herramienta fundamental, dentro de un planteo de manejo sostenible del viñedo (Ingels *et al.*, 1998).

Al momento de elegir un cultivo de cobertura y su manejo se deben tener en cuenta los objetivos pretendidos (reducir riesgos de erosión, mejorar estructura del suelo, proveer nitrógeno, controlar malezas, etc.), el sitio de cultivo y el manejo del viñedo (Ingels y Klonsky, 1998). Los factores que determinan la elección de las especies son (Ingels y Klonsky, 1998; McGourty y Christensen, 1998):

- Características de clima y suelo.
- Consideraciones respecto de la erosión.
- Disponibilidad hídrica y tipo de provisión de agua.
- Vigor relativo del viñedo.
- Riesgo de heladas.
- Consideraciones respecto de plagas.
- Facilidad de mantenimiento.
- Costo de semilla y plantación.

Las coberturas vegetales proveen numerosos beneficios, pero no existe una cobertura verde ideal y habitualmente es recomendable utilizar mezclas de especies. Las características deseables de un cultivo de cobertura dependen de los objetivos perseguidos (Bowman *et al.*, 1998). En general, para viñedos de las regiones vitivinícolas argentinas, los atributos de una cobertura vegetal deberían ser:

- Rápido establecimiento y cobertura del suelo.
- Elevado aporte de materia orgánica.
- Moderado aporte de nitrógeno.
- Fácil de mantener (perennes o anuales con resiembra natural y crecimiento lento).
- Bajo consumo y alta eficiencia en el uso del agua.
- Escasa competencia por nutrientes.
- No albergar ni atraer plagas.

Recurso hídrico

La Argentina posee más de 225.800 has cultivadas con vid, ocupando el décimo lugar a nivel mundial en superficie. La provincia de Mendoza registra 158.800 has, que representan algo más del 70% del total país (INV, 2008). Los valles cultivados de la provincia de Mendoza se clasifican como ecosistemas áridos y semiáridos (Capitanelli, 1967; Roig, 1970; Noy-Meir, 1973), consecuentemente la agricultura depende del riego debido a sus escasas precipitaciones (de 200 a 400 mm anuales) y a la elevada evapotranspiración potencial que se registra durante los meses estivales (6 a 7 mm por día) (Catania *et al.*, 2007). El recurso hídrico proveniente de los deshielos de la cordillera de los Andes es esencial para asegurar la producción agrícola de la región. El agua es un recurso escaso, resultando uno de los factores limitantes dentro de cualquier sistema agrícola productivo. El problema toma mayor envergadura si se tienen en cuenta las predicciones a futuro, del impacto del cambio climático y el crecimiento poblacional, sobre la disponibilidad del recurso hídrico (Vorosmarty *et al.*, 2000).

El aumento de la concentración de los llamados gases de efecto invernadero en la atmósfera, particularmente del dióxido de carbono, está produciendo cambios significativos en el clima (IPCC, 2007). Estos cambios globales tendrán una particular influencia en la viticultura mundial (Schultz, 2000; Jones *et al.*, 2005) y regional (Boninsegna, 2011). Estudios sobre el cambio climático para la región Oeste de la Argentina (Hulme y Sheard, 1999) predicen, según diferentes escenarios, las siguientes consecuencias en el ambiente para el año 2080 (comparando con las medias 1960-90):

- Incremento de la temperatura media anual de 1,2 a 4,0°C.

- Probabilidad de disminución en la precipitación media anual de hasta el 13%.

Se espera además, una reducción del volumen de agua en los ríos, por una menor cantidad de nieve precipitada en la cordillera (SAyDS, 2007).

El señalado aumento de la temperatura generará mayor evapotranspiración, con los mismos niveles de precipitación o inclusive algo menores y con menor disponibilidad de agua para riego. En definitiva se espera que este nuevo escenario induzca un mayor déficit hídrico. Es conveniente aclarar que al aumentar la temperatura en la zona cordillerana, se anticipa un adelanto en el fenómeno de deshielo nival, lo cual provocará un aumento en los caudales de los ríos durante la primavera y una reducción de los mismos en el transcurso del verano (Boninsegna y Villalba, 2006). El agua será un recurso cada vez más limitante para la agricultura en el futuro, particularmente en las regiones áridas (Rijsberman, 2006).

La escasez de agua dulce en el mundo determinó la introducción del concepto de huella hídrica de un producto, definiéndose como el volumen de agua dulce usada para producir dicho producto, medida a lo largo de toda la cadena de suministro (Hoekstra *et al.*, 2011). Este concepto comienza progresivamente a aplicarse para evaluar la producción de uva en Mendoza (Conte y Fayad, 2012).

En las últimas décadas, los tradicionales sistemas de riego gravitatorio de la región (por melgas, bateas y surcos) de la región, han comenzado lentamente a sustituirse por sistemas de riego localizado (goteo y micro-aspersión); con estos sistemas se utiliza un menor volumen de agua que se localiza en la línea de plantas. Esta tecnología aumenta notablemente la eficiencia de uso del agua de las actividades agrícolas en climas áridos (Miranda y Medina, 2005). En el año 2002 la provincia de Mendoza contaba con 13.750 has de vid con riego localizado (el 99% en riego por goteo), lo cual representaba algo más del 10% de la superficie total de viñedos (INDEC, 2002). En este nuevo contexto, los sistemas de riego por goteo son ineficientes para lograr el establecimiento de las especies herbáceas introducidas, usualmente utilizadas como coberturas vegetales en viñedos (Uliarte *et al.*, 2009a).

Especies herbáceas nativas

Existen diversas experiencias en regiones vitícolas de zonas áridas, principalmente de Estados Unidos y Australia, donde se han utilizado coberturas vegetales compuestas por especies nativas. En viñedos californianos se ha estudiado el comportamiento de gramíneas perennes nativas, las cuales poseen un ciclo fenológico opuesto al de la vid, por lo que se encuentran en dormancia durante el verano (Costello, 1999; Ingels *et al.*, 2005), mientras que en regiones vitícolas de Washington y Oregon se ha evaluado una gran diversidad de especies nativas para su uso en el sitio interfilar de viñedos (Olmstead *et al.*, 2001; Sweet y Schreiner, 2010). En Australia se han efectuado experiencias con gramíneas nativas seleccionadas de distintos sitios (Danne *et al.*, 2010; Penfold, 2010a) y se ha explorado además la potencial utilización de arbustos nativos del género *Atriplex*, similar a la “zampa” local (Penfold, 2010b). Todas estas especies han evolucionado en su región de origen, por lo que están bien adaptadas a las condiciones edafo-climáticas del lugar.

Se conocen algunas prácticas en viñedos mendocinos, regados mediante sistemas de goteo e instalados en suelo virgen luego de efectuar el desmonte de la vegetación natural; allí ante la imposibilidad de implantar coberturas vegetales introducidas, se ha favorecido el desarrollo y multiplicación de herbáceas nativas. De manera espontánea, se ha logrado establecer con éxito una cubierta verde con especies nativas, consiguiendo elevados niveles de cobertura de suelo en solo algunos años (Rinaldi, Dalla Torre y Ariza, com. pers.). De la misma manera, en experiencias de xerojardinería con flora nativa se ha logrado establecer pasturas polifíticas a través del segado de las especies herbáceas del monte natural, obteniendo un césped de buena densidad (Dalmasso *et al.*, 2009).

Con perspectivas de un manejo más racional del suelo e intentando ser más eficientes en el uso extra de agua por parte de la cobertura verde, se considera importante el estudio de estas especies nativas. Se trata principalmente de gramíneas perennes de actividad estival, con vía fotosintética tipo C₄, tolerantes a la sequía y adaptadas a las condiciones ambientales de la región, donde domina un régimen de precipitaciones de verano (Parodi, 1964; Roig, 1969; Ruiz Leal, 1972; Roig, 1976). El crecimiento de éstas gramíneas es oportunista y por pulsos, ya que se produce cuando se presenta una

temperatura propicia y agua disponible en el suelo (Dalmasso, 1994; Villagra *et al.*, 2011). Sin embargo, la distribución de los pastos nativos tiene una alta correlación con la temperatura, predominando a mayores altitudes las del tipo C₃ (Cavagnaro, 1988). Entre las C₄, los géneros comúnmente encontrados son; *Aristida*, *Bouteloua*, *Chloris*, *Digitaria*, *Leptochloa*, *Eragrostis*, *Panicum*, *Pappophorum*, *Setaria*, *Sporobolus*, *Trichloris*, entre otras; y dentro de las C₃ aparecen principalmente *Bromus*, *Elymus*, *Piptochaetium*, *Poa* y diferentes especies de *Nassella* (Cavagnaro, 1988).

Las plantas de ambientes áridos a desérticos poseen diversos diseños estructurales y estrategias fisiológicas para maximizar la tasa de fotosíntesis y evitar las pérdidas de agua. La estrategia clave que determina que tengan relativamente alta eficiencia en el uso del agua parece radicar en la maximización de la fotosíntesis y no tanto en la disminución de la transpiración, cuando existe agua disponible en el suelo (Gibson, 1998). Numerosas especies que viven en zonas áridas, en ambientes con temperaturas relativamente elevadas y con cierta limitación de agua, exhiben la vía fotosintética C₄ (Doliner y Jolliffe, 1979). Esta ruta metabólica parece haber evolucionado en una etapa de disminución en la concentración del CO₂ atmosférico, que comenzó durante el período Cretácico y continuó en el transcurso del Mioceno (Ehleringer *et al.*, 1991). El metabolismo C₄ permite a la planta elevar la concentración de CO₂ intercelular, mediante una compleja combinación de especializaciones bioquímicas y morfológicas. En las plantas C₄ la fotosíntesis se efectúa en aire saturado de CO₂ y se suprime la foto-respiración (von Caemmerer y Furbank, 2003). Las consecuencias funcionales de este mecanismo se hacen evidentes mediante el aumento en la eficiencia en el uso de agua y nitrógeno, y en general, con ventajas adaptativas en condiciones de calor, aridez y alta luminosidad (Percy y Ehleringer, 1984).

Las gramíneas nativas se adaptan mejor a suelos poco fértiles característicos de zonas áridas y semi-áridas. No obstante ello, al manejar la fertilidad del suelo se debe tener en cuenta que al aplicar una excesiva fertilización nitrogenada se estará favoreciendo a las especies introducidas (Claassen y Marler, 1998; Abraham *et al.*, 2009).

Ante el cambio climático previsto (Hulme y Sheard, 1999), las especies nativas, mejor adaptadas a las condiciones regionales e íntimamente ligadas a un uso eficiente del agua, ofrecen ventajas comparativas para ser utilizadas como cultivo de cobertura.

Potencial efecto alelopático

Desde la antigüedad se ha advertido la capacidad que tienen algunas plantas para afectar el crecimiento de otros vegetales. El primero en registrarlo fue el filósofo y botánico griego Teofrasto, quien expresó que el efecto perjudicial de la col sobre la planta de vid era debido a “olores” producidos por la col (Willis, 1985). Mientras que el fisiólogo vegetal Hans Molisch (1937) fue quien propuso el término “alelopatía” (del griego “allelon”: mutuo y “pathos”: daño), para describir la influencia de una planta sobre otra. Por lo tanto puede afirmarse que uno de los primeros antecedentes del fenómeno alelopático, al menos en la cultura occidental, tuvo como protagonistas a las antiguas viñas cultivadas.

La alelopatía puede ser definida como: cualquier efecto directo o indirecto de una planta (incluyendo microorganismos) sobre otro vegetal a través de la liberación de compuestos químicos al ambiente. Este efecto puede ser tanto inhibitorio como estimulante, dependiendo de la concentración del compuesto (Rice, 1984). Sin embargo, como esta definición resulta ser tan amplia, algunos autores prefieren acotarla solo al fenómeno inhibitorio de una especie sobre otra, debido a la liberación de sustancias fitotóxicas (Lambers *et al.*, 1998). Las sustancias involucradas en la interferencia se denominan aleloquímicos (Whittaker y Feeny, 1971). Estos aleloquímicos pueden ser liberados al ambiente por volatilización o lixiviado de partes aéreas de la planta, exudados de las raíces, lixiviación de los residuos de las plantas o por descomposición de la materia orgánica (Chick y Kielbaso, 1998; Anaya, 1999).

La mayoría de los aleloquímicos pueden clasificarse como metabolitos secundarios y están relacionados con mecanismos de defensa de la planta. No obstante ello, existen también ciertos metabolitos primarios de significativa importancia en alelopatía (Inderjit y Keating, 1999). Entre los metabolitos primarios con potencial alelopático se pueden

nombrar por ejemplo algunos ácidos y alcoholes orgánicos simples, aldehídos y cetonas, ácidos grasos y ésteres, mientras que entre los metabolitos secundarios los grupos más importantes son: terpenoides, compuestos aromáticos, alcaloides y aminas, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos (Leicach, 2006). Blum (1996), en base a diversos estudios, sugiere que la actividad alelopática se produce, no por la acción de una única sustancia, sino mas bien debido a la combinación de diferentes aleloquímicos y otros compuestos orgánicos.

Entre los efectos alelopáticos más conocidos en agricultura se pueden citar los provocados por las diferentes especies de nogales (*Juglans spp.*), quienes liberan una quinona, denominada juglona, de probado efecto tóxico hacia varias plantas (Scott y Sullivan, 2007). Otra quinona de conocido potencial inhibitorio sobre distintas especies es la sorgoleona, sustancia secretada por diferentes especies de sorgo (*Sorghum spp.*) (Cheema *et al.*, 2007). El problema del replante del duraznero ha sido vinculado a la liberación de aleloquímicos, en este caso glicósidos cianogénicos como prunasina y amigdalina, responsables de esta auto-alelopatía (Gur y Cohen, 1989). Fenómenos auto-alelopáticos se han descrito también en alfalfa, debido principalmente a la liberación de medicarpina (Dornbos *et al.*, 1990) y en arroz por la liberación de diferentes compuestos fenólicos, durante la descomposición de sus residuos (Chou y Lin, 1976). Fenómenos auto-inhibitorios han sido sugeridos en campos de viveros utilizados para la multiplicación de vides (*Vitis sp.*), aunque sin haberse identificado la sustancia interviniente (Brinker y Creasy, 1988).

En la actualidad se conoce el potencial que posee un gran número de especies cultivadas y malezas, de generar exudados que limitan la germinación o el crecimiento de otras especies (Anaya, 1999; Inderjit y Keating, 1999). Bengoa (1983), para la región central de Chile, verificó el efecto inhibitorio de malezas perennes sobre plantas jóvenes de durazneros, atribuible a efectos alelopáticos. En viñedos manejados con una cobertura vegetal, algunos estudios sugieren que la combinación entre competencia y alelopatía reduce el crecimiento de las plantas de vid (Bordelon y Weller, 1997; Celette *et al.*, 2005).

Resulta complejo demostrar y discriminar bajo condiciones de campo, los efectos de competencia por recursos (luz, agua y nutrientes), inmovilización microbiana de nutrientes y alelopatía (interacción química), estando además esta última muy relacionada con el estrés medioambiental. Esto ha llevado a que sea un hecho discutido en sus particularidades, pues en los sistemas naturales se presentan de manera conjunta (Inderjit y del Moral, 1997; Inderjit y Keating, 1999), para lo cual se utiliza el vocablo “interferencia” (Müller, 1966), que incluye los términos de competencia y alelopatía en vegetales. De todas formas, se han efectuado numerosas investigaciones para tratar de identificar, aislar y demostrar el efecto fitotóxico de los aleloquímicos, dentro de diversas interacciones entre vegetales (Inderjit y Callaway, 2003).

Hipótesis de trabajo

En función de lo expuesto, al proyectar el estudio de especies herbáceas nativas como nuevas componentes de coberturas vegetales, que aseguren el recubrimiento del suelo en el viñedo y con ventajas adaptativas en cuanto al uso eficiente del agua y fijación de CO₂, resulta de interés verificar que su introducción no provoque efectos alelopáticos significativos hacia la planta de vid. De ahí que surgen las siguientes hipótesis:

Hipótesis principal:

Existen en la flora autóctona especies que pueden ser utilizadas como cultivo de cobertura en viñedos irrigados.

Hipótesis secundarias:

Las especies nativas:

a) Poseen mayor eficiencia en el uso del agua (CO₂ adquirido por unidad de agua perdida) respecto de las malezas y las especies tradicionalmente utilizadas para el cultivo de cobertura.

b) No inhiben el crecimiento de plantas jóvenes de vid o la germinación de otras especies mediante la liberación de sustancias alelopáticas.

Objetivo general

El objetivo de este trabajo de tesis es evaluar los atributos más relevantes de las especies nativas vinculados a la utilización eficiente del agua, a la mejor fijación de CO₂ y a sus efectos alelopáticos, que permitan seleccionarlas como cultivos de cobertura más ventajosos frente a las especies cultivadas o las malezas, en viñedos de la zona Norte, Este y Centro de Mendoza.

Objetivos específicos

1) Identificar las especies herbáceas nativas predominantes, dentro de un sistema de manejo vitícola, en tres zonas vitivinícolas de la provincia; el Este Mendocino, la Zona Alta del Río Mendoza y el Valle de Uco.

2) Valorar el intercambio gaseoso en especies herbáceas nativas, exóticas cultivadas y malezas.

3) Evaluar el potencial efecto alelopático hacia plantas jóvenes de vid.

4) Seleccionar las especies herbáceas nativas más adecuadas para su utilización como cobertura vegetal en cada zona vitícola.

MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

Se presentan a continuación las metodologías comunes a las experiencias realizadas y detalles particulares de los diseños experimentales empleados en cada ensayo. La Figura 2.1 muestra un esquema metodológico del trabajo realizado.

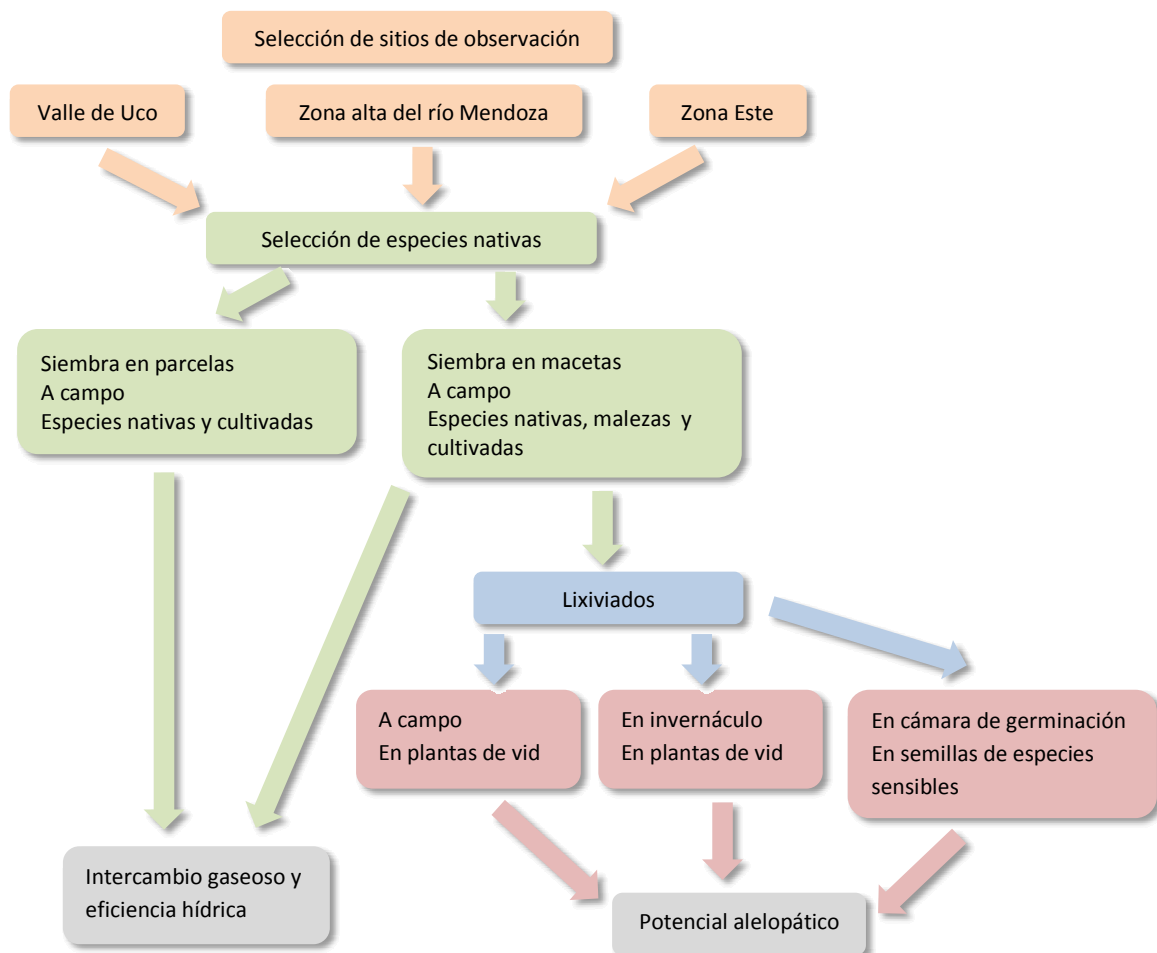


Figura 2.1. Esquema metodológico del trabajo de tesis.

SITIOS DE OBSERVACIÓN

Se definieron tres sitios de observación, en tres importantes zonas vitivinícolas de la provincia de Mendoza (Tabla 2.1 y Figura 2.2). La Zona Este es la de menor altitud, caracterizada por temperaturas más elevadas y con mayor potencial productivo, donde habitualmente se producen vinos jóvenes. La Zona Alta del Río Mendoza es de mayor altura que la anterior y por sus características de clima y suelo es identificada como productora de vinos de calidad. La Zona del Valle de Uco se encuentra más al Sur y es la de mayor altitud y desarrollo en la actualidad, sus características edafo-climáticas permiten la elaboración de vinos de guarda. Los tres sitios representan diferentes climas vitivinícolas de la región (Catania *et al.*, 2007) y son caracterizados climáticamente a través de los datos obtenidos en estaciones meteorológicas próximas, tomadas como referencia (Figuras 2.3, 2.4 y 2.5). La descripción de los principales parámetros edáficos se presenta en la Tabla 2.2.

Los viñedos de seguimiento son conducidos en espaldero, con un distanciamiento de 2 m entre hileras y provistos con sistemas de riego por goteo, tienen la particularidad de haber sido implantados en suelo virgen, previo desmonte (años 2000 a 2002) de la vegetación nativa. Allí se dejó desarrollar vegetación espontánea, la cual fue mantenida mediante segados periódicos durante un lapso de tiempo que varió de tres a cinco años, previos al inicio del presente estudio (año 2007).

Tabla 2.1. Descripción de las tres parcelas de seguimiento.

Viñedo	Finca Clement	Fincas del Inca	Finca La Celia
Ubicación	Santa Rosa (Alto Verde)	Maipú (Barrancas)	San Carlos (Eugenio Bustos)
Latitud	33° 07' S	33° 04' S	33° 46' S
Longitud	68° 11' O	68° 44' O	69° 07' O
Altitud (m.s.n.m.)	622	789	1.020
Estación meteorológica de referencia (S.M.N.)	San Martín	Chacras de Coria	San Carlos
Latitud	33° 05' S	32° 59' S	33° 46' S
Longitud	68° 25' O	68° 52' O	69° 02' O
Altitud (m.s.n.m.)	653	921	940
Zona vitivinícola (1)	Este Mendocino	Zona Alta del Río Mendoza	Valle de Uco
Clima Vitícola (1)	Caluroso, con sequía fuerte y noches templadas	Caluroso, con sequía moderada y noches frías	Caluroso, con sequía moderada y noches muy frías

Abreviaturas: m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar. S.M.N.: Servicio Meteorológico Nacional (Argentina). Referencia: (1) según Catania *et al.* (2007).

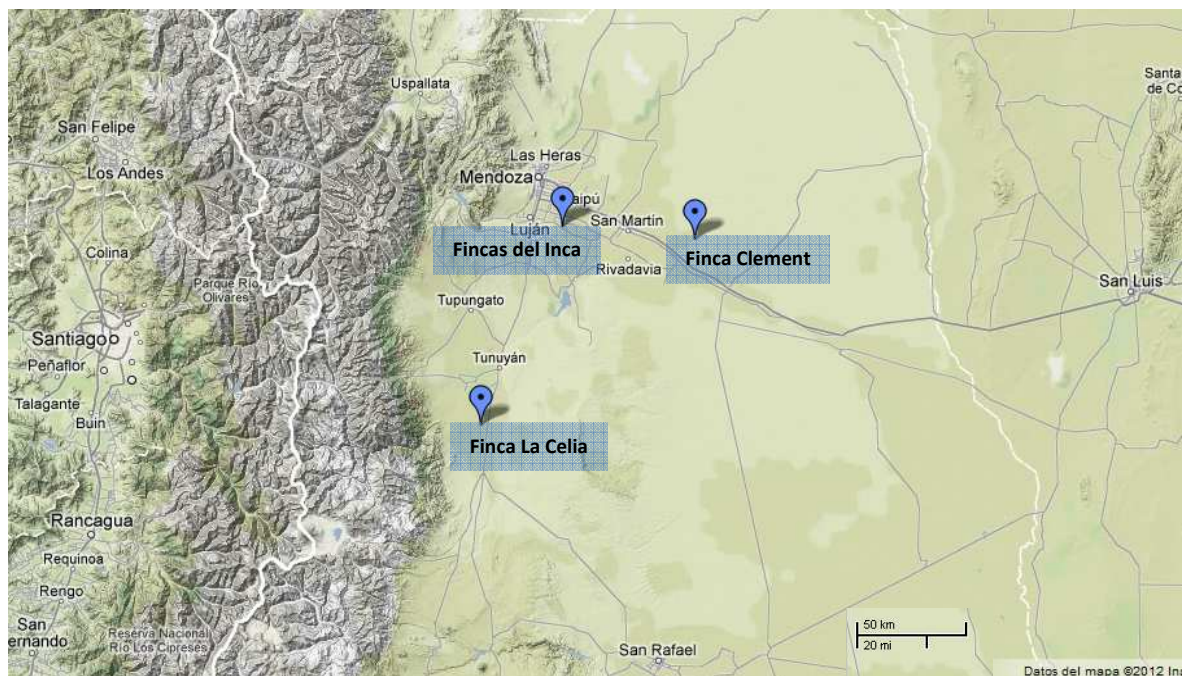


Figura 2.2. Ubicación geográfica de los viñedos de seguimiento. Fuente: modificado de Google Maps.

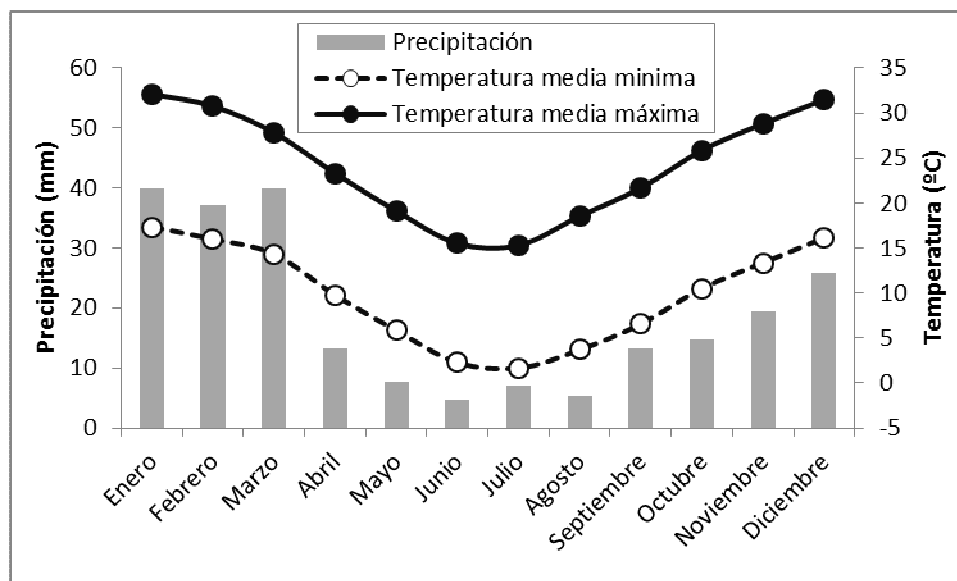


Figura 2.3. Caracterización climática de la zona vitivinícola del “Este Mendocino”. Estación meteorológica “San Martín, Mendoza” (S.M.N.). Período 1970-2004.

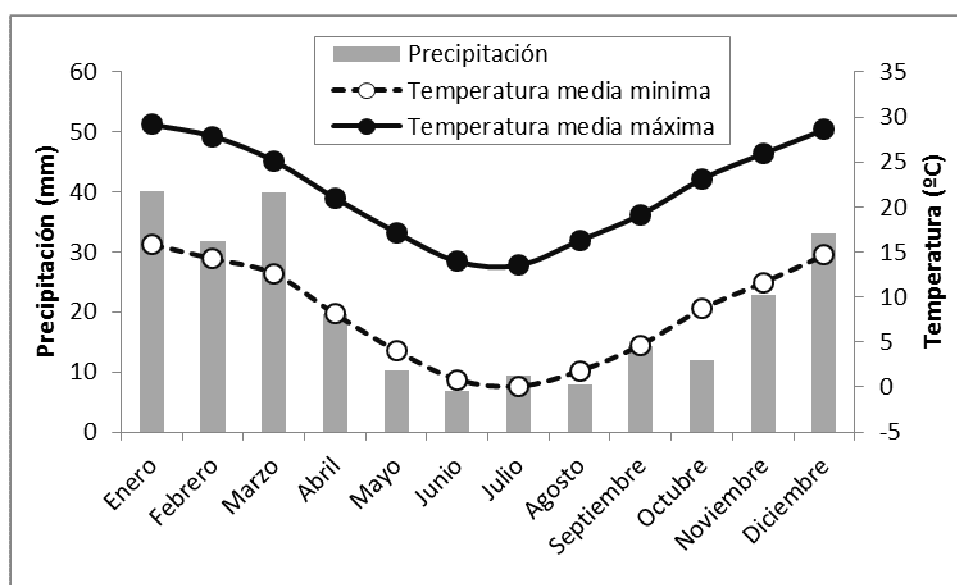


Figura 2.4. Caracterización climática de la zona vitivinícola del “Zona Alta del Río Mendoza”. Estación meteorológica “Chacras de Coria” (S.M.N.). Período 1970-2004.

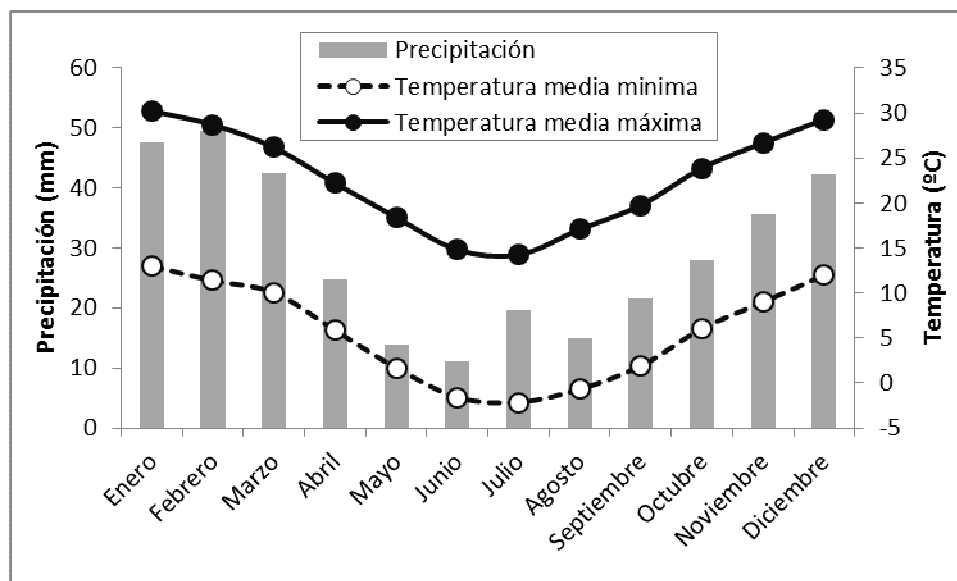


Figura 2.5. Caracterización climática de la zona vitivinícola del “Valle de Uco”. Estación meteorológica “San Carlos” (S.M.N.). Período 1970-2004.

Tabla 2.2. Caracterización edáfica de las parcelas en estudio.

		Finca Clement		Fincas del Inca		Finca La Celia		
Profundidad (m)		0,0 - 0,3	0,3 - 0,6	0,0 - 0,3	0,3 - 0,6 (10)	0,0 - 0,3	0,3 - 0,6 (10)	
Fracciones texturales (%) (1)	Arcilla	0-2 μ	3,9	5,4	4,8	-	10,0	-
	Limo	2-50 μ	9,6	7,4	10,1	-	22,5	-
	Arena fina	50-200 μ	37,3	36,5	32,3	-	31,7	-
	Arena gruesa	200-2.000 μ	49,2	50,7	52,8	-	35,8	-
Clasificación (2)		Arenoso franco	Arenoso franco	Arenoso franco	-	Franco arenoso	-	
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) (3)		2163	2218	1240	-	2372	-	
pH		7,6	7,7	7,7	-	7,5	-	
Cationes (me l^{-1})(4)	Ca ⁺²	14,35	9,60	11,24	-	21,54	-	
	Mg ⁺²	2,52	2,11	0,95	-	2,36	-	
	Na ⁺	6,19	14,48	2,63	-	5,65	-	
RAS (5)		2,4	5,9	1,1	-	1,6	-	
N (ppm) (6)		294	185	283	-	425	-	
P (ppm) (7)		109	76	38	-	52	-	
K (ppm) (8)		362	309	136	-	330	-	
MO (%) (9)		0,43	0,31	0,37	-	0,71	-	

Referencias: (1) Textura por dispersión. (2) Clasificación textural americana. (3) Conductividad eléctrica del extracto de saturación. (4) Cationes solubles determinados por absorción atómica. (5) Relación de absorción de sodio. (6) Nitrógeno total por Método Kjeldahl. (7) Fósforo disponible, relación suelo-agua (1:50), expresado como P₂O₅. (8) Potasio intercambiable, expresado como K. (9) Materia orgánica disponible por Método de Walkley-Black. (10) A partir de los 0,3 m de profundidad se presenta pedregoso.

SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS UTILIZADAS COMO CULTIVOS DE COBERTURA

Especies nativas

El manejo del cultivo establecido en los viñedos de seguimiento; sistema de riego localizado y manejo de suelo mediante cortes periódicos, favoreció el establecimiento y multiplicación de especies herbáceas nativas (Anexo 1), alcanzando niveles de cobertura del suelo de 58 a 66% (Anexo 2). En marzo del año 2007 se analizó la composición específica de la cobertura vegetal en los tres sitios seleccionados, utilizando el método de la cuerda con cuentas (Sarrantonio, 1995), detectándose en cada sitio de observación dos especies herbáceas dominantes (Figura 2.6), las cuales en conjunto representaron no menos del 85% del total de especies en cada sitio. Estas seis especies nativas más importantes, se seleccionaron para ser utilizadas en los ensayos (Tabla 2.3).

A nivel de campo se comprobó el predominio, para cada sitio evaluado, de dos de las especies nativas, las cuales fueron todas especies distintas entre sí en cada lugar de observación. Las características pedo-climáticas de cada zona, con similares manejos vitícolas, determinaron la composición específica de la flora nativa. Estas observaciones confirman que las especies nativas pueden establecerse bajo condiciones de manejo habitual y lograr predominancia, en viñedos bajo riego por goteo, además de resistir el tránsito habitual del equipamiento vitícola.

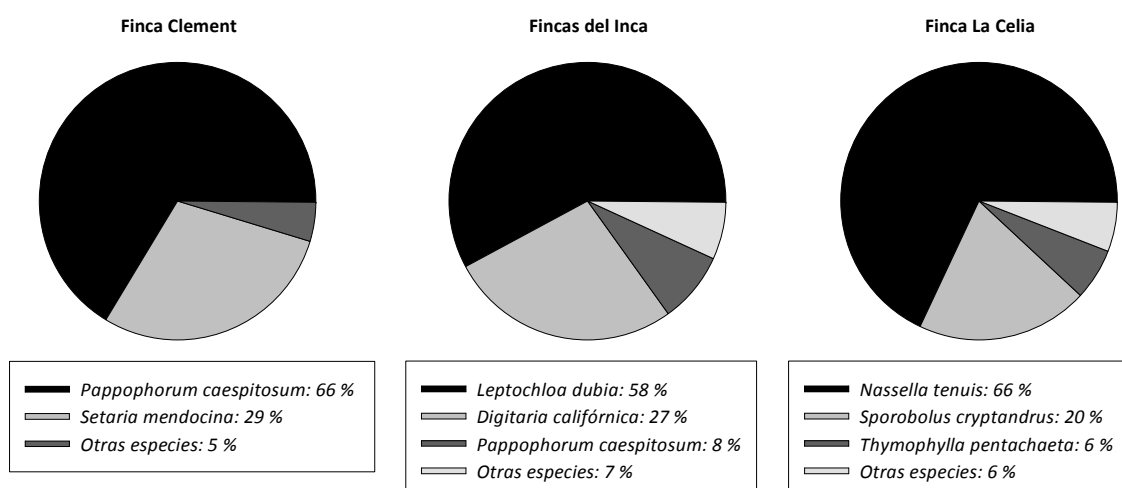


Figura 2.6. Porcentaje de cobertura de las principales especies del estrato herbáceo en el espacio interfilas de tres viñedos bajo riego por goteo, en diferentes zonas vitícolas de la provincia de Mendoza. Marzo de 2007.

Tabla 2.3. Principales características eco-fisiológicas de las especies nativas estudiadas.

Tratamiento	Nombre Científico (1)	Familia - Origen	Ciclo - Grupo	Crecimiento activo	Código
Pasto plateado	<i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard	Poaceae - Nativa	Perenne - C ₄	Verano	DI
Pata de ñandú	<i>Leptochloa dubia</i> (Kunth) Nees	Poaceae - Nativa	Perenne - C ₄	Verano	LE
Cola de zorro	<i>Setaria mendocina</i> Phil.	Poaceae - Nativa	Perenne - C ₄	Verano	SE
Pasto amargo	<i>Pappophorum caespitosum</i> R.E. Fr.	Poaceae - Nativa	Perenne - C ₄	Verano	PA
Esporobolo	<i>Sporobolus cryptandrus</i> (Torr.) A. Gray	Poaceae - Nativa	Perenne - C ₄	Verano	SP
Flechilla de invierno	<i>Nassella tenuis</i> (Phil.) Barkworth	Poaceae - Nativa	Perenne - C ₃	Otoño, invierno y primavera	NA

Referencias: (1) según Zuloaga *et al.* (2008).

Especies exóticas cultivadas y malezas

Para efectuar los estudios comparativos con las herbáceas nativas, se escogieron cuatro especies exóticas cultivadas introducidas como cultivos de cobertura en la zona. Dos de ellas perennes; una gramínea y otra leguminosa, y dos especies anuales; una de ciclo invernal tradicionalmente sembrada como abono verde en viñedos y otra de ciclo estival. Complementariamente se seleccionaron dos malezas introducidas perennes, de amplia propagación en los viñedos de Mendoza. Las principales características eco-fisiológicas de ellas se presentan en la Tabla 2.4. Como testigo se utilizó una “parcela o área” con suelo o sustrato desnudo, desmalezado manualmente, que se identificó como SU.

Tabla 2.4. Principales características eco-fisiológicas de las especies exóticas cultivadas y malezas estudiadas.

Tratamiento	Nombre Científico (1)	Familia - Origen	Ciclo - Grupo	Crecimiento activo	Código
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i> L.	Fabaceae - Cultivada Exótica	Perenne - C ₃	Otoño, invierno y primavera	TR
Festuca alta	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Poaceae - Cultivada Exótica	Perenne - C ₃	Otoño, invierno y primavera	FE
Centeno	<i>Secale cereale</i> L.	Poaceae - Cultivada Exótica	Anual - C ₃	Otoño, invierno y primavera	SC
Sorgo del Sudán (2)	<i>Sorghum sudanense</i> (Piper) Stapf	Poaceae - Cultivada exótica	Anual - C ₄	Verano	SO
Sorgo de Alepo (2)	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Poaceae - Maleza Exótica	Perenne - C ₄	Verano	SO
Chepica	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae - Maleza Exótica	Perenne - C ₄	Verano	CY

Referencias: (1) según Zuloaga *et al.* (2008).

(2) utilizadas en diferentes ensayos.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS EXPERIENCIAS

Se desarrollaron distintos ensayos experimentales para estudiar intercambio gaseoso y potencial alelopático de los diferentes cultivos de cobertura seleccionados.

Estudios de campo

Se llevaron adelante en el Instituto de Investigación de Geisenheim (Alemania), donde el grupo de Viticultura cuenta con novedosas experiencias en el estudio evapotranspirativo de coberturas vegetales en viñedos (Lopes *et al.*, 2004; Pfister, 2005); se utilizaron equipamientos específicos para tal fin que permitieron evaluar la dinámica estacional del consumo hídrico y el balance de CO₂. La experiencia se realizó durante el año 2008 en parcelas sembradas con las especies seleccionadas, contrastadas con el suelo labrado que se tomó como testigo.

La metodología de este estudio se detalla en el Capítulo 3.

Cabe aclarar que no se efectuaron estudios eco-fisiológicos de los cultivos de cobertura bajo condiciones de campo en Mendoza. A nivel local estos estudios se desarrollaron en macetas.

Estudios en macetas

Para efectuar estudios de intercambio gaseoso comparativos entre las distintas especies seleccionadas, se diseñó en Mendoza un ensayo con los cultivos de cobertura implantados en macetas a campo. Las mismas se instalaron a fines del año 2007 en la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (EEA Mza) del INTA (Argentina) y las experiencias se desarrollaron hasta el año 2010. Para realizar las mediciones de gases se utilizó el mismo equipamiento y metodología empleados en la experiencia de campo hecha en Alemania.

Paralelamente, plantas jóvenes de vid provenientes de estacas fueron trasplantadas en macetas a campo para luego ser irrigadas con los lixiviados del riego de las diferentes coberturas vegetales. De esta forma se evaluó el potencial efecto alelopático de especies nativas, cultivadas y malezas hacia pequeñas cepas.

El detalle metodológico de estos ensayos se presenta en el Capítulo 4.

Estudios en invernáculo y cámara de germinación

Los estudios del potencial alelopático en macetas a campo fueron complementados con experiencias en invernadero y pruebas de germinación.

En invernadero se replicó el ensayo de campo, utilizando los mismos lixiviados provenientes de las macetas con cultivos de cobertura a campo, pero empleando plantas de vid en macetas más pequeñas y puestas bajo cubierto. Esta metodología permitió utilizar vides jóvenes provenientes de estaca, de activo crecimiento y suponiendo una mayor sensibilidad a cualquier tipo de estrés, mientras que los riegos con los lixiviados fueron más frecuentes.

Se efectuaron además pruebas biológicas en cámara de germinación, para verificar la actividad aleloquímica de los lixiviados en semillas de una especie sensible como *Lactuca sativa* (Inderjit y Keating, 1999) y en semillas de algunos cultivos de cobertura.

La metodología de estas experiencias se detalla en el Capítulo 5.

DINÁMICA ESTACIONAL DEL INTERCAMBIO GASEOSO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y DEL SUELO CON DIFERENTES LABRANZAS

INTRODUCCIÓN

La cantidad de agua evaporada por el suelo y consumida por los cultivos de cobertura en un viñedo puede ser significativa, dependiendo de diversos factores, algunos relacionados al viñedo como el tipo de sistema de conducción de la vid y la distancia entre hileras (Centinari *et al.*, 2009) y otros vinculados a las especies utilizadas como coberturas vegetales como por ejemplo su eficiencia en el uso del agua o su adaptación al sistema de producción. Actualmente existe escasa información respecto de la cantidad de agua usada por las coberturas vegetales en viñedos (Yunusa *et al.*, 1997; Lopes *et al.*, 2004; Centinari *et al.*, 2012).

Se estima que la interacción entre un cultivo de cobertura y un cultivo perenne puede determinar un aumento en el uso del agua, respecto del suelo descubierto, que oscila normalmente entre el 9% y el 46% (Prichard *et al.*, 1989; Gulick *et al.*, 1994; Monteiro y Lopes, 2007), pudiendo llegar inclusive a valores superiores al 80% (Uliarte y del Monte, 2006), dependiendo de diversos factores tales como las especies utilizadas, el grado de cobertura del suelo, el sistema de riego o las características edafo-climáticas de cada sitio.

Por otra parte se afirma que la adopción de prácticas de manejo conservacionista del suelo, por ejemplo mediante el uso de coberturas vegetales, puede ayudar a restaurar una parte considerable del carbono orgánico perdido por la degradación provocada por un mal manejo edáfico, a través del secuestro de carbono orgánico en el suelo (Sainju *et al.*, 2002). Este tipo de manejo ayudará a mitigar las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera (Lal, 2004; Hutchinson *et al.*, 2007).

La evapotranspiración de una cubierta verde puede ser determinada gravimétricamente usando mini-lisímetros (Feldhake *et al.*, 1983), siendo una alternativa para situaciones de espacio limitado como en el sitio interfilar de los viñedos (Yunusa *et al.*, 1997). También se ha determinado a través de mediciones de intercambio gaseoso a nivel de hojas y calculando el área foliar total de las plantas (Lopes *et al.*, 2004).

Para medir los flujos de agua y de dióxido de carbono simultáneamente existen actualmente dos métodos principales. Los métodos micro-meteorológicos, especialmente la técnica de Eddy covarianza (Baldocchi *et al.*, 1988), son usados ampliamente en estudios ecológicos y requieren de grandes áreas homogéneas, lo cual los excluye para su uso en experiencias con parcelas pequeñas. Para estos casos se han desarrollado diversas técnicas con cámaras para canopia cerradas, semi-cerradas y abiertas. A diferencia de las cámaras cerradas y semi-cerradas, las cámaras abiertas no requieren de costosos sistemas de control del microclima debido a su continua ventilación y han probado ser adecuadas para mediciones de largo plazo, permitiendo aproximaciones de intercambio de gases de alta resolución en el tiempo, admitiendo asimismo evaluaciones de los efectos de cambios ambientales en la fotosíntesis a corto plazo (Burkart *et al.*, 2007). Las cámaras portátiles se usan extensamente debido a que pueden adaptarse a diferentes objetivos de estudio, son fácilmente transportadas al campo y luego trasladadas para comparar diferentes tratamientos (Centinari *et al.*, 2009). El uso de estas cámaras ha permitido obtener mediciones realistas de los flujos de CO₂ y H₂O en la canopia de especies herbáceas (Dugas *et al.*, 1997; Burkart *et al.*, 2007; Centinari *et al.*, 2009)

La evaluación a campo, del flujo de gases (CO₂ y vapor de agua) entre los cultivos de cobertura y la atmósfera respecto al suelo desnudo, es un importante atributo a tener en cuenta al momento de seleccionar una especie para recomendar su cultivo como protector del suelo; más aún en áreas donde la restricción hídrica adquiere una gran importancia.

Hipótesis

La medición de intercambio de gases de la canopia permite diferenciar distintos manejos del suelo y la actividad eco-fisiológica de los cultivos de cobertura.

Objetivo general

Evaluar distintos manejos del suelo y el crecimiento de especies nativas y exóticas cultivadas como cubiertas vegetales, mediante la cuantificación del intercambio gaseoso y la eficiencia en el uso del agua. Utilizar para ello una metodología de medición desarrollada en el Instituto de Investigación de Geisenheim (Alemania).

Objetivos específicos

- 1) Valorar el intercambio de CO₂ para diferentes cultivos de cobertura.
- 2) Evaluar la dinámica en el contenido hídrico del suelo.
- 3) Determinar la eficiencia en el uso del agua por parte de las coberturas vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio fue conducido dentro del campo experimental del Centro de Investigación de Geisenheim, Alemania (latitud: 49°59'10''N, longitud: 7°57'17''E, altitud: 114 m.s.n.m.). El terreno posee una pendiente del 8%, con exposición Sur y permaneció inculto por tres años previo al estudio. El suelo es de textura arcillo-limosa con una profundidad de 1,5 m y el horizonte superficial posee un pH de 7,6-7,7 con un contenido de materia orgánica del 3%. Los datos climáticos de la temporada fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst, DWD), desde una estación meteorológica adyacente al área bajo estudio, y se muestran en la Figura 3.1; son específicamente indicados para los días de medición en la Tabla 3.1.

Nótese que el sitio presenta temperaturas más moderadas y mayores niveles de precipitación, con un promedio anual de 526 mm, en comparación con las tres zonas vitícolas argentinas bajo estudio, las cuales oscilan entre los 229 y 351 mm de promedio anual. Por otro lado la textura del suelo más pesada (arcillo-limosa) representa una limitante para el crecimiento de nuestras especies nativas, adaptadas a suelos más sueltos (areno-limosos).

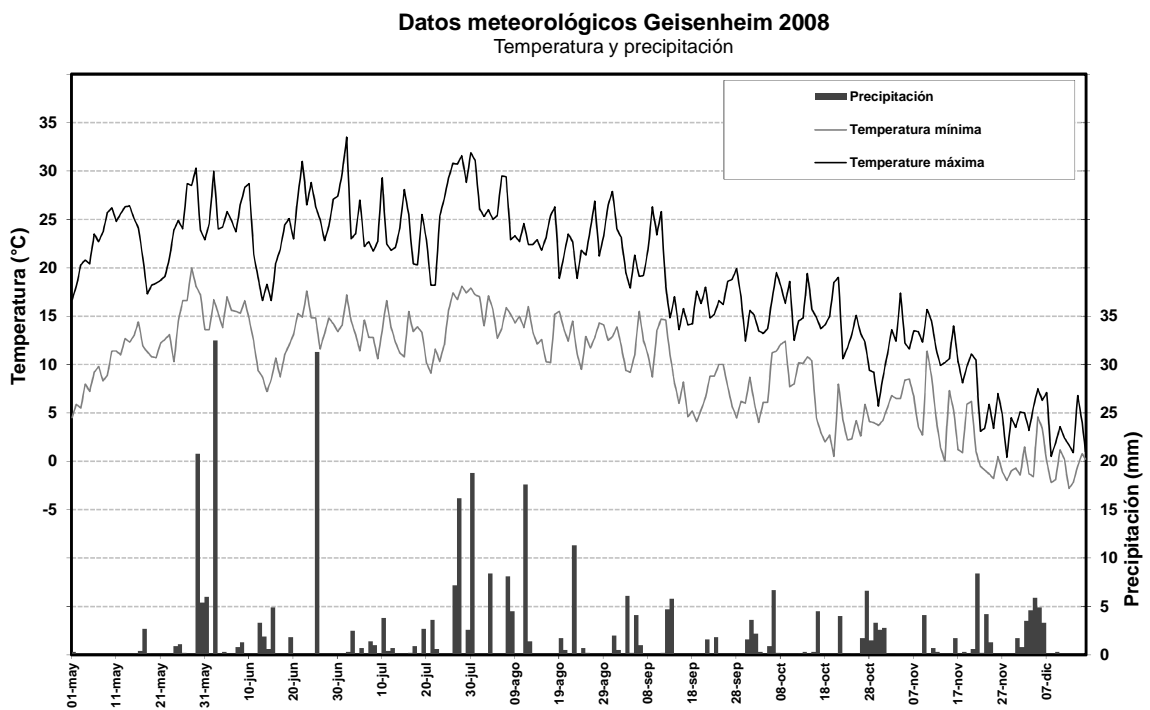


Figura 3.1. Datos meteorológicos del sitio experimental durante la temporada 2008. Datos provistos por el Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst, DWD), estación meteorológica Geisenheim, Alemania.

Tabla 3.1. Parámetros climáticos durante los días de monitoreo del intercambio gaseoso (Deutscher Wetterdienst, DWD). Los valores de mediciones diarias continuas se exponen resaltados en color gris, el resto corresponde a mediciones efectuadas ente las 12 y 15 hora local.

Fecha (dd/mm/aaaa)	Temperatura	Temperatura	Evaporación	Horas de sol
	máxima (°C)	mínima (°C)	potencial (mm)	
27/06/2008	22,8	13,2	3,7	2,4
30/06/2008	27,4	13,4	6,4	14,3
14/07/2008	24,1	11,2	4,5	8,8
15/07/2008	28,1	10,8	6,7	14,0
31/07/2008	31,1	17,2	5,3	12,0
05/08/2008	25,4	12,7	4,4	10,5
11/08/2008	24,6	13,8	3,5	3,9
21/08/2008	23,5	12,4	3,4	7,3
22/08/2008	22,7	14,5	1,4	2,2
27/08/2008	26,9	12,8	4,0	11,0
18/09/2008	14,2	5,2	1,9	4,2
19/09/2008	17,6	4,1	2,8	10,0
26/09/2008	18,6	7,7	3,0	10,0
27/09/2008	18,8	5,7	2,9	10,1
10/10/2008	18,6	7,7	1,8	7,6
14/10/2008	19,4	10,8	2,4	2,3
07/11/2008	13,5	6,7	0,9	0,2
17/11/2008	10,3	1,2	1,3	4,1
28/11/2008	0,4	-2,0	0,2	0,0
09/12/2008	1,9	-1,9	0,1	0,0

Especies bajo estudio

Se estudiaron seis especies nativas de Argentina dominantes que fueron seleccionadas en viñedos bajo riego por goteo y localizados en tres importantes regiones vitivinícolas de Mendoza, Argentina, donde se incentivó el desarrollo de la vegetación espontánea (ver Capítulo 2). Entre el 26 y 28 de mayo de 2008, semillas de *Nassella tenuis*, *Sporobolus cryptandrus*, *Leptochloa dubia*, *Digitaria californica*, *Pappophorum caespitosum* y *Setaria mendocina* y de dos especies C₃ comúnmente utilizadas como coberturas verdes en Alemania, *Trifolium repens*, *Festuca arundinacea* y una especie C₄, *Sorghum sudanense* fueron sembradas en parcelas experimentales.

El diseño experimental adoptado fue de parcelas completamente aleatorizadas con tres repeticiones por especie y dos controles sin vegetación donde se modificó la intensidad de labranza (labranza mínima y máxima) (Anexo 3). El área de cada parcela experimental fue de 0,75 m x 0,75 m (0,56 m²) con una bordura de suelo descubierto de 0,15 m en el perímetro. Se usaron densidades de siembra muy elevadas para lograr una rápida cobertura de suelo. Las especies nativas de Argentina tuvieron una pobre emergencia, por lo que debieron ser resembradas el 8 de julio de 2008. Sin embargo, solo una de estas especies, *Digitaria californica*, se estableció de manera aceptable para llevar a cabo mediciones posteriores. El resto de las especies no alcanzó una cobertura de suelo suficiente debido a diferentes problemas, en algunos casos debido al bajo poder germinativo o, en general, por no adaptarse a las condiciones edafo-climáticas locales. Las variables experimentales definitivas se muestran en la Tabla 3.2

Las parcelas experimentales fueron mantenidas libres de malezas a través de operaciones manuales conducidas al menos una vez a la semana. El suelo se mantuvo descubierto en dos tratamientos testigos. Labranza mínima (LMin) fue desmalezada una vez a la semana y labranza máxima (LMax) fue adicionalmente labrada manualmente mediante azadón, de manera periódica a una profundidad de 0,15 a 0,20 m. El 4 de agosto y el 29 de septiembre de 2008, las parcelas sembradas con *S. sudanense* fueron segadas, debido a la elevada altura alcanzada por la especie.

Tabla 3.2. Características de las especies estudiadas y de los tratamientos en las parcelas con suelo desnudo.

Tratamiento	Nombre científico	Familia	Ciclo - Grupo	Crecimiento período	Código
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i> L.	Fabaceae	Perenne - C ₃	Primavera, verano y otoño	TR
Festuca alta	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Poaceae	Perenne - C ₃	Primavera, verano y otoño	FE
Sorgo del Sudán	<i>Sorghum sudanense</i> (Piper) Stapf	Poaceae	Anual - C ₄	Verano	SO
Pasto plateado	<i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henr.	Poaceae	Perenne - C ₄	Verano	DI
Suelo descubierto con labranza mínima	Control de malezas manual, una vez por semana.				LMin
Suelo descubierto con labranza máxima	Labranza simulada mediante azadón efectuada los días 20/06, 05/08, 10/09, 27/11 de 2008 (de 0,15 a 0,20 m de profundidad).				LMax

Caracterización de las coberturas vegetales

El crecimiento de las especies ensayadas se evaluó midiendo periódicamente el grado de cobertura del suelo usando el método de la cuerda con cuentas (Sarrantonio, 1995). El promedio de la altura de 10 plantas tomadas al azar por parcela fue determinado durante el transcurso de la temporada.

Monitoreo del agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo fue monitoreado con una sonda de humedad de suelo (Diviner 2000, Sentek Pty Ltd, Stepney South Australia) a intervalos de 0,2 m hasta 1 m de profundidad. Tubos de acceso de la sonda fueron ubicados en el centro de algunas parcelas experimentales, seleccionadas como parcelas de referencia. Uno para cada uno de los siguientes tratamientos: *T. repens*, *S. sudanense*, *F. arundinacea* y suelo descubierto

con labranza mínima (LMin). La capacidad de campo fue determinada a principios de primavera, luego de un riego de las parcelas hasta recargar completamente el suelo. El contenido de agua en el suelo obtenido mediante la sonda, fue expresado como una fracción de capacidad de campo (%) y denominado como contenido relativo de agua en el suelo; *Cras*.

Mediciones de intercambio gaseoso

Las mediciones de intercambio gaseoso se efectuaron a nivel de planta entera mediante un sistema de cámara abierta para canopia (CPY-3, PP Systems, Hitchin, Reino Unido), modificado en el Instituto de Investigación de Geisenheim (Schultz y Frings, com. pers.) para ser usado con cámaras cilíndricas de 0,50 m de diámetro y 0,50 m de altura con un volumen total de 0,098 m³ (Figura 3.2), por lo tanto, menos de la mitad del tamaño de un sistema similar usado por Centinari *et al.* (2009) con un propósito equivalente. La cámara fue equipada con un ventilador próximo a un termistor (NTC), utilizado para determinar la temperatura del aire dentro de la cámara. La radiación de fotones fotosintéticamente activos (RFA) dentro de la cámara fue medida con un pequeño sensor puntual cuántico (EMS 7, PP Systems, Hitchin, Reino Unido).

La penetración de la luz dentro de la cámara, determinada con un espectroradiómetro (modelo 100-40, Hitachi, Japón), fue levemente atenuada (alrededor del 15%) en la región de los 300 a 1.000 nm, debido al film de poliéster (Hostaphan, Pütz, Frankfurt, Alemania) utilizado como cobertor de la cámara (Anexo 4).

El monitoreo de gases se realizó mediante un analizador infrarrojo de gases (EGM4, PP Systems, Hitchin, Reino Unido). Los flujos de CO₂ y de H₂O de la canopia fueron medidos como diferencias en las fracciones molares de CO₂ y H₂O, respectivamente, entre la muestra de gas de referencia tomada en la entrada de aire y la medición de gas de la muestra tomada en el interior de la cámara.

La pérdida de peso calculada a partir de los datos del equipo EGM4 fue del 81% de la determinada mediante la pérdida de peso con independencia de la velocidad de

evaporación o transpiración y el flujo de aire utilizado (Figura 3.3) e independiente del tiempo durante la temporada (Pfister, 2005). Las diferencias pueden haberse producido como resultado de desviaciones en la calibración del sistema sensor de la humedad, pero como fue estable a través del tiempo e independiente de las tasas de evaporación o transpiración actual, fue de utilidad para comparar diferentes especies de plantas respecto de su uso relativo del agua. Se aplicó un factor de corrección de +19% a los datos, de manera similar a otro estudio reciente usando cámaras más grandes en el cual se encontró también que el método de la cámara subestimó la pérdida de agua, comparado con la determinación gravimétrica de evaporación o transpiración, en un 13% (Centinari *et al.*, 2009). Para evitar la limitación de la transpiración o asimilación de las plantas en el campo, inducida por un posible flujo de aire insuficiente y para reducir las diferencias de temperatura entre la cámara y el exterior (Burkart *et al.*, 2007), las mediciones fueron conducidas con un suministro de aire hacia el interior de la cámara de 70 a 90 l min⁻¹, según lo sugerido por el fabricante (PP Systems). Dependiendo de las condiciones externas, la temperatura del aire en la cámara podría desviarse de la temperatura del aire exterior entre +1 y +3,5°C.

Se efectuaron dos tipos de mediciones durante la temporada 2008:

- 1- Tasas de intercambio gaseoso determinadas al mediodía (entre las 11:00 y 15:00 h). El equipo registró datos automáticamente cada minuto durante un período de cinco minutos, antes de ser trasladado a otra parcela.
- 2- Intercambio gaseoso diario, determinado durante un día completo con registros cada uno o tres minutos mediante dos sistemas de cámaras instaladas en dos tratamientos simultáneamente.

La eficiencia en el uso del agua (E_{ua}) se obtuvo calculando el cociente entre la tasa de asimilación de CO₂ y la E_{vt} (evaporación del suelo y transpiración de las plantas).

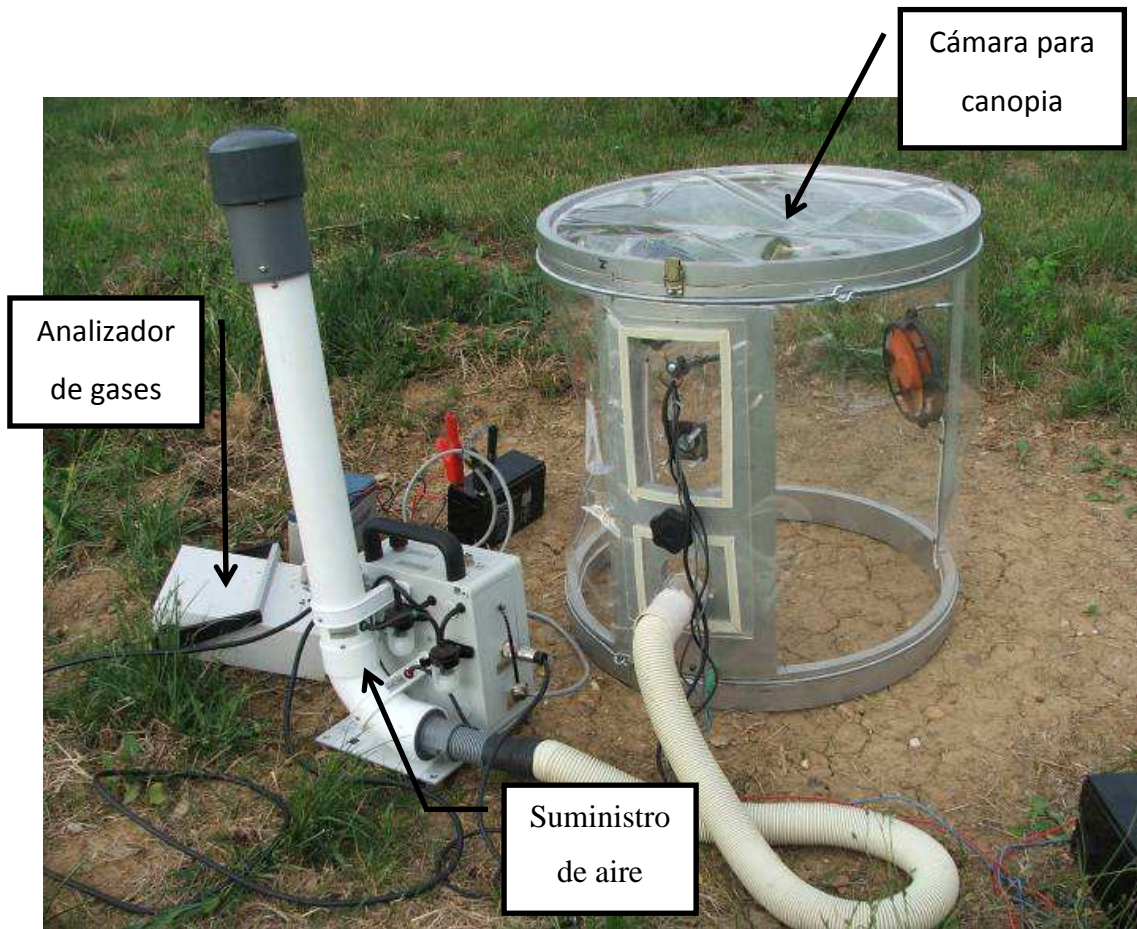


Figura 3.2. Sistema de cámara abierta para canopia (CPY-3, PP System) modificado en el Instituto de Investigación de Geisenheim y utilizado para las mediciones de intercambio gaseoso.

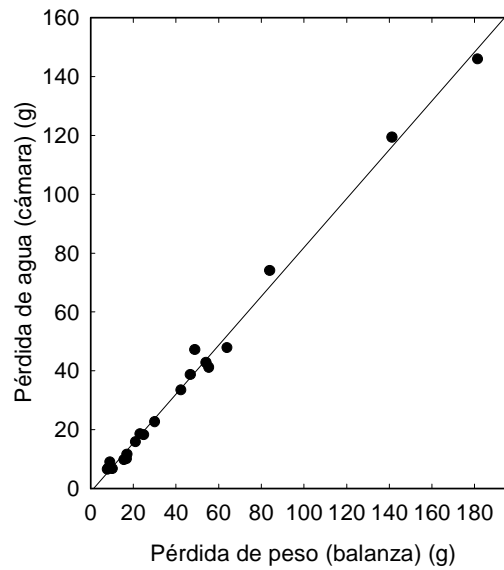


Figura 3.3. Pérdida de agua determinada con el equipo EGM4 y el sistema de cámara CPY-3, en recipientes abiertos conteniendo agua o plantas en maceta ubicados dentro de la cámara por períodos de diferente duración, comparada con la pérdida de peso registrada con balanza. Datos obtenidos en un período de cuatro semanas entre mediados de mayo y mediados de junio de 2005 (Pfister, 2005).

Técnicas estadísticas

Los datos fueron sometidos a análisis de la varianza utilizando el software Infostat/P versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron comparadas usando la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Se determinaron los errores estándares para las medias de los tratamientos, los cuales aparecen en figuras y tablas. Los gráficos fueron creados con el software Sigmaplot 11.0 (Systat Software Inc., 2008) y Excel 2010 (Microsoft Corporation, 2010).

RESULTADOS

Cobertura vegetal

La Figura 3.4 muestra el crecimiento vegetativo de las especies estudiadas. La especie anual estival, *Sorghum sudanense* (SO), comenzó a crecer rápidamente en altura y alcanzó una cobertura del 50% a mediados de junio y del 100% para mediados de Septiembre, éste fue segado en dos oportunidades durante la temporada con el fin de mantenerlo con una altura inferior a los 0,50 m (Figura 3.4A). El resto de las especies necesitó más tiempo para establecerse y se mantuvo con bajo porte durante el período de experimentación, sin la necesidad de segados.

La leguminosa perenne invernial, *Trifolium repens* (TR), adaptada a climas fríos, creció hasta 0,15 m y alcanzó una cobertura de suelo cercana al 80% para principios del mes de agosto y del 100% a inicios de octubre (Figura 3.4A y B). Esta especie mantuvo un elevado nivel de cobertura debido a su tipo de crecimiento estolonífero y rastrero.

Digitaria californica (DI), gramínea perenne de actividad estival, debió ser sembrada y comenzó a establecerse más de un mes más tarde que el resto de las especies. Creció algo más de 0,20 m en altura y alcanzó más del 85% de cobertura para mediados de septiembre (Figura 3.4A y B). A finales de septiembre esta especie alcanzó su dormancia invernial.

La gramínea perenne invernial *Festuca arundinacea* (FE) fue la de menor porte (no más de 0,08 m) y la más lenta en establecerse. A inicios de septiembre alcanzó el 50% de cobertura y cubrió no más del 80% para Noviembre. Esta fue la única especie que no completó su ciclo reproductivo.

A comienzos de Octubre, SO comenzó su período de senescencia cuando su cobertura verde disminuyó y se incrementó la cobertura de rastrojo (Figura 3.4B). La cobertura con rastrojo aumentó considerablemente en noviembre y diciembre debido a que éste fue distribuido manualmente sobre las parcelas experimentales, para estudiar su efecto

en la pérdida de agua. TR y FE mantuvieron su crecimiento activo durante otoño e inicios del invierno.

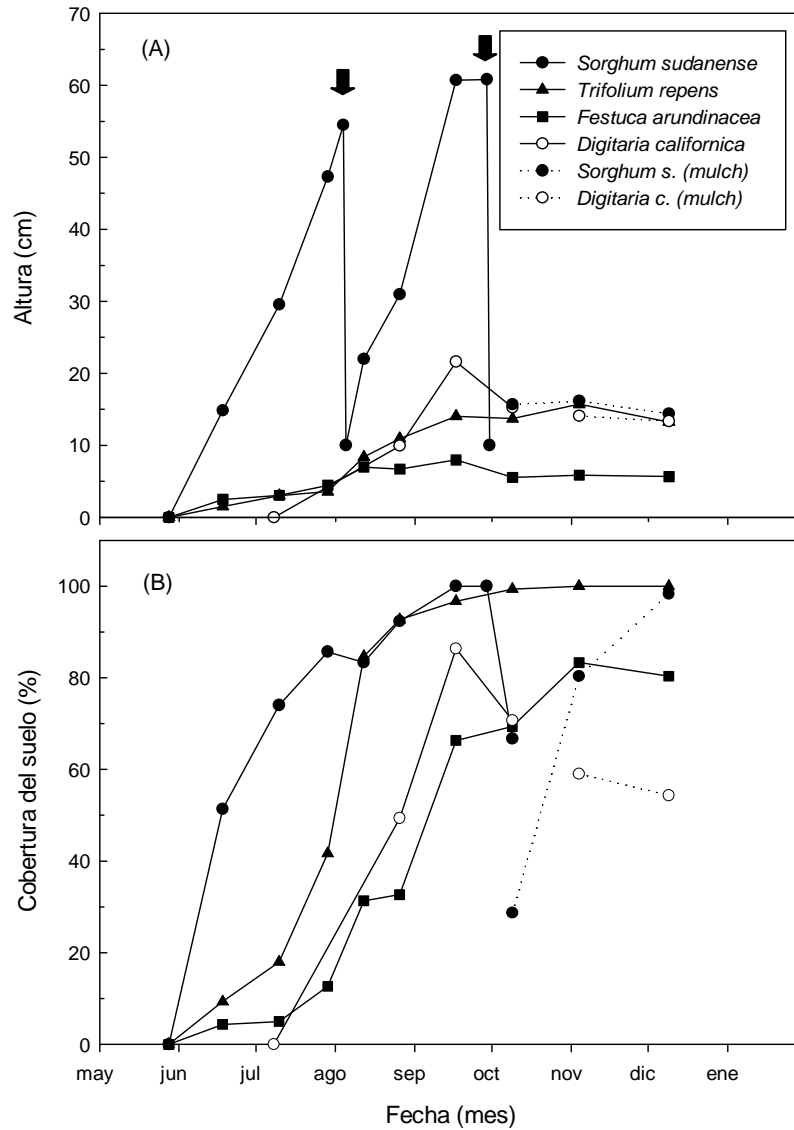


Figura 3.4. Desarrollo de altura de las plantas (A) y grado de cobertura del suelo (B) de diferentes coberturas vegetales durante el año 2008. Las flechas indican el segado de las parcelas de *Sorghum sudanense*. Las líneas punteadas muestran el rastrojo (mulch) de las especies con dormancia invernal.

Contenido de agua en el suelo

La Figura 3.5 muestra el monitoreo del agua en el suelo en tratamientos con cobertura vegetal (SO, TR y FE) y en suelo descubierto con labranza mínima (LMin), para diferentes profundidades de suelo. *S. sudanense* y *T. repens* redujeron notoriamente el contenido relativo de agua en el suelo (*Cras*) en todo el perfil en comparación con el suelo descubierto. Esto fue particularmente evidente en los primeros 0,40 m de profundidad, donde los valores de humedad cayeron a cerca del 40% de capacidad de campo (Figura 3.5A y B). A mayor profundidad las diferencias disminuyeron respecto de LMin, manteniéndose las mismas tendencias (Figura 3.5C, D y E).

En el transcurso del mes de julio, *S. sudanense* mostró el mayor consumo de agua durante su período de rápido crecimiento (*cf.* Figura 3.4), mientras que a partir de fines de agosto, *T. repens* fue la especie con el menor contenido hídrico en el suelo hasta los 0,60 m de profundidad (Figura 3.5A, B y C). Por debajo de los 0,60 m, *S. sudanense* extrajo más agua que el resto de las especies provocando que el *Cras* permaneciera bajo, incluso luego de que su ciclo de crecimiento hubiera terminado (Figura 3.5D y E). Por debajo de los 0,40 m y entre 0,80 y 1 m de profundidad, el tratamiento de *F. arundinacea* tuvo un patrón de *Cras* similar al del suelo descubierto, durante toda la temporada. Solo entre 0,40 y 0,80 m, FE presentó tasas de extracción mayores que LMin. Este último tratamiento se mantuvo entre el 80 y 100% respecto de capacidad de campo en todo el perfil (Figura 3.5A a E).

Las dinámicas del *Cras* fueron mayores en las capas más superficiales del suelo (Figura 3.5A y B). Para finales de julio y principios de agosto las diferencias entre los tratamientos fueron pequeñas debido a un período de lluvias (*cf.* Figura 3.1). A partir de octubre, los niveles de humedad a una profundidad de 0,40 m comenzaron a aumentar en los tratamientos de SO y TR, mientras que por debajo de 0,40 m el contenido de agua continuó disminuyendo en estas parcelas hasta principios de diciembre (Figura 3.5C-E). Las precipitaciones durante este período no fueron suficientes para reponer el agua en todo el perfil (*cf.* Figura 3.1).

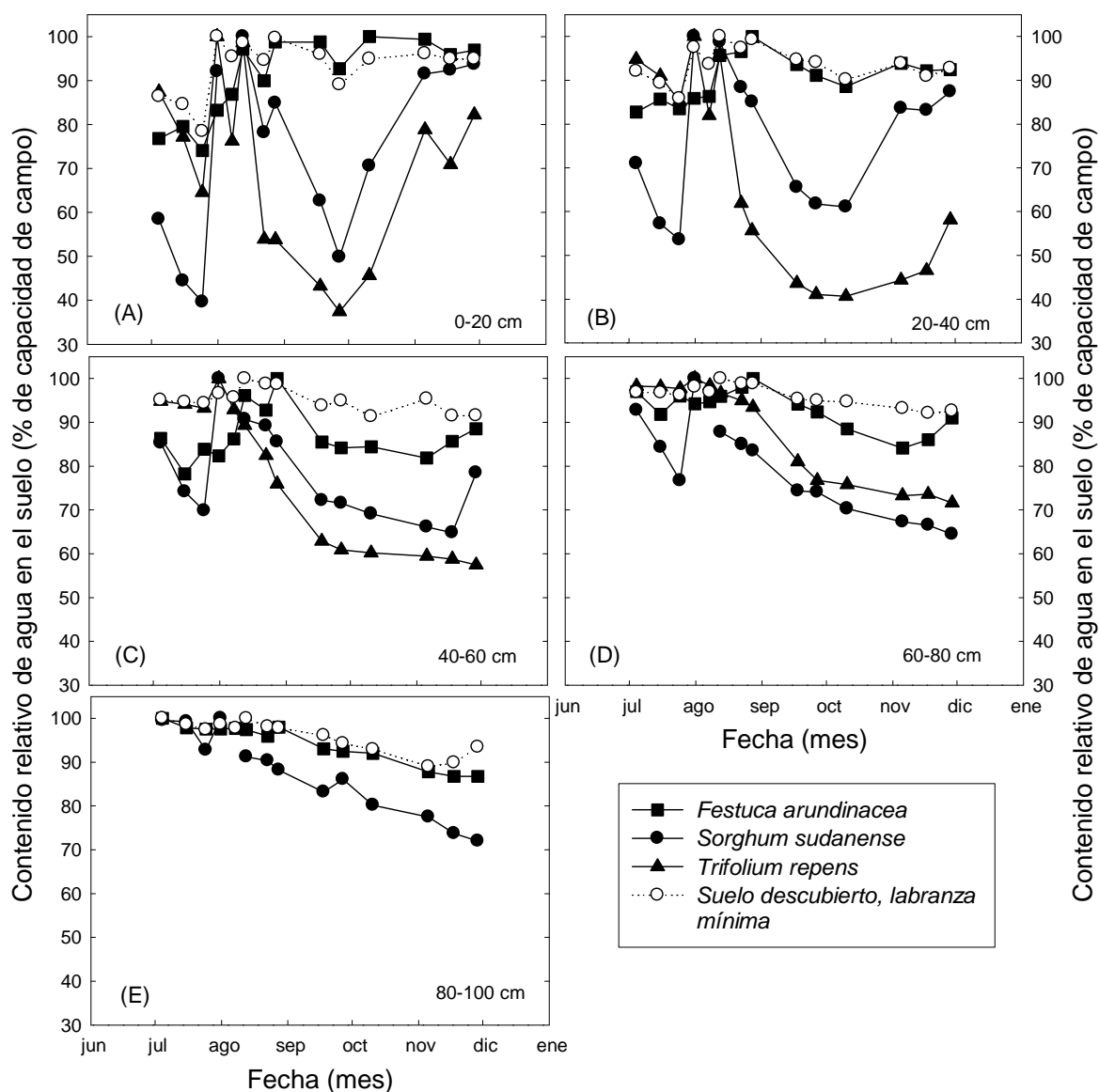


Figura 3.5. Patrón anual del contenido relativo de agua en el suelo (C_{ras}) de diferentes especies de cobertura vegetal y bajo labranza mínima. El contenido relativo de agua en el suelo, expresado como porcentaje respecto de capacidad de campo, fue medido a una profundidad de suelo de 0-0,2 m (A), 0,2-0,4 m (B), 0,4-0,6 m (C), 0,6-0,8 m (D) y 0,8-1,0 m (E), durante el año 2008.

Tasa de evapotranspiración

En la Figura 3.6 se comparan las tasas de evapotranspiración (E_{vt}) de diferentes coberturas verdes y la evaporación (E_v) del suelo descubierto, para diferentes fechas durante la temporada 2008. En junio se registraron mediciones durante dos días. El día 27

estuvo nublado y no se observaron diferencias entre los tratamientos (Figura 3.6A), mientras que el día 30 estuvo soleado y el tratamiento *S. sudanense* mostró los valores de *Evt* más elevados, próximos a los $280 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, seguido por el tratamiento de *T. repens* con $140 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 3.6B). En mediciones continuas de *Evt* entre el 14 y 15 de julio (día templado y seco, cf. Tabla 3.1) el tratamiento de *S. sudanense*, la única especie con una cobertura de suelo significativa para esa fecha (cf. Figura 3.4B), presentó una tasa de *Evt* diaria de $0,92 \text{ mm d}^{-1}$, comparados con los $0,26 \text{ mm d}^{-1}$ evaporados por la parcela de suelo descubierto (TMin) (Figura 3.7A). En este período, la cobertura del suelo de *S. sudanense* estuvo cerca del 75% (cf. Figura 3.4B) y su contenido relativo de agua en el suelo (*Cras*) de 45 a 57% para las capas más superficiales (Figura 3.5A y B), limitando posiblemente el intercambio gaseoso debido al mayor cierre estomático.

El estudio mostró elevadas tasas de *Ev* en suelo descubierto luego de un evento de lluvia, con el perfil del suelo completamente cargado, las cuales excedieron en algunos casos la *Evt* de parcelas con cobertura verde, en un día soleado con una temperatura máxima superior a los 30°C (31 de julio, Figura 3.6C y Tabla 3.1). El secado de la superficie ocurrió rápidamente y cinco días más tarde la *Ev* diaria total fue de solamente el 40% ($0,82 \text{ mm d}^{-1}$) respecto de la *Evt* registrada por *S. sudanense* ($2,03 \text{ mm d}^{-1}$) (Figura 3.7B).

Hasta principios de Agosto, la *Evt* del tratamiento de *F. arundinacea* no se diferenció de la *Ev* con labranza mínima y máxima (Figura 3.6A a D). Estos resultados estuvieron aparentemente muy relacionados a los bajos niveles de cobertura del suelo de *F. arundinacea*, los cuales se mantuvieron entre el 5 y 30% (cf. Figura 3.4B), actuando prácticamente como suelo desnudo.

Desde el mes de agosto y hasta principios de octubre, el tratamiento de *T. repens* presentó tendencia a mayor *Evt*, independientemente de las condiciones ambientales, (Figura 3.6D a G, Figura 3.7C y D). El resto de los tratamientos no siempre fueron significativamente diferentes entre sí, pero existió la tendencia de los tratamientos con suelo descubierto a presentar menores tasas de *Ev* (Figura 3.6D a F). Aunque *T. repens* y *S. sudanense* presentaron niveles de cobertura similares, superiores al 85% para el período

considerado (cf. Figura 3.4B), el consumo de SO tendió a ser menor, probablemente debido al efecto del segado y la modificación de la arquitectura foliar (Figura 3.6D a G). Mientras que la *Evt* al mediodía de *F. arundinacea* fue similar a la de SO (Figura 3.6D a F), a pesar de poseer menores niveles de cobertura. Se registraron valores de *Evt* diarios máximos por encima de los 3 mm d⁻¹, para *T. repens* el 27 de Agosto, bajo condiciones óptimas (Figura 3.7D).

La elevada y duradera *Evt* de *T. repens* durante verano tardío y otoño estuvo relacionada a la explotación continua del agua en el suelo hasta los 0,60 m de profundidad, la cual excedió al resto de las especies (cf. Figura 3.5A y B). *D. californica*, con desarrollo tardío respecto de las demás especies, presentó valores de *Evt* similares a las anteriores (TR, FE y SO) durante septiembre (Figura 3.6E y F), lo cual fue confirmado también cuando las mediciones se llevaron a cabo durante 24 horas comparando DI y SO (Figura 3.7E).

Durante Octubre, *T. repens* y *F. arundinacea* mostraron las mayores tasas de *Evt* (Figura 3.6G y H), mientras que las especies estivales (SO y DI), las cuales para esa época se encontraban senescentes (como rastrojo), presentaron los niveles más bajos de *Ev*, en algunos casos con valores significativamente inferiores a los tratamientos con suelo descubierto (LMin y LMax) (Figura 3.6G a K). En un día típico de invierno, las tasas de *Evt* fueron insignificantes para todos los tratamientos ($<0.4 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

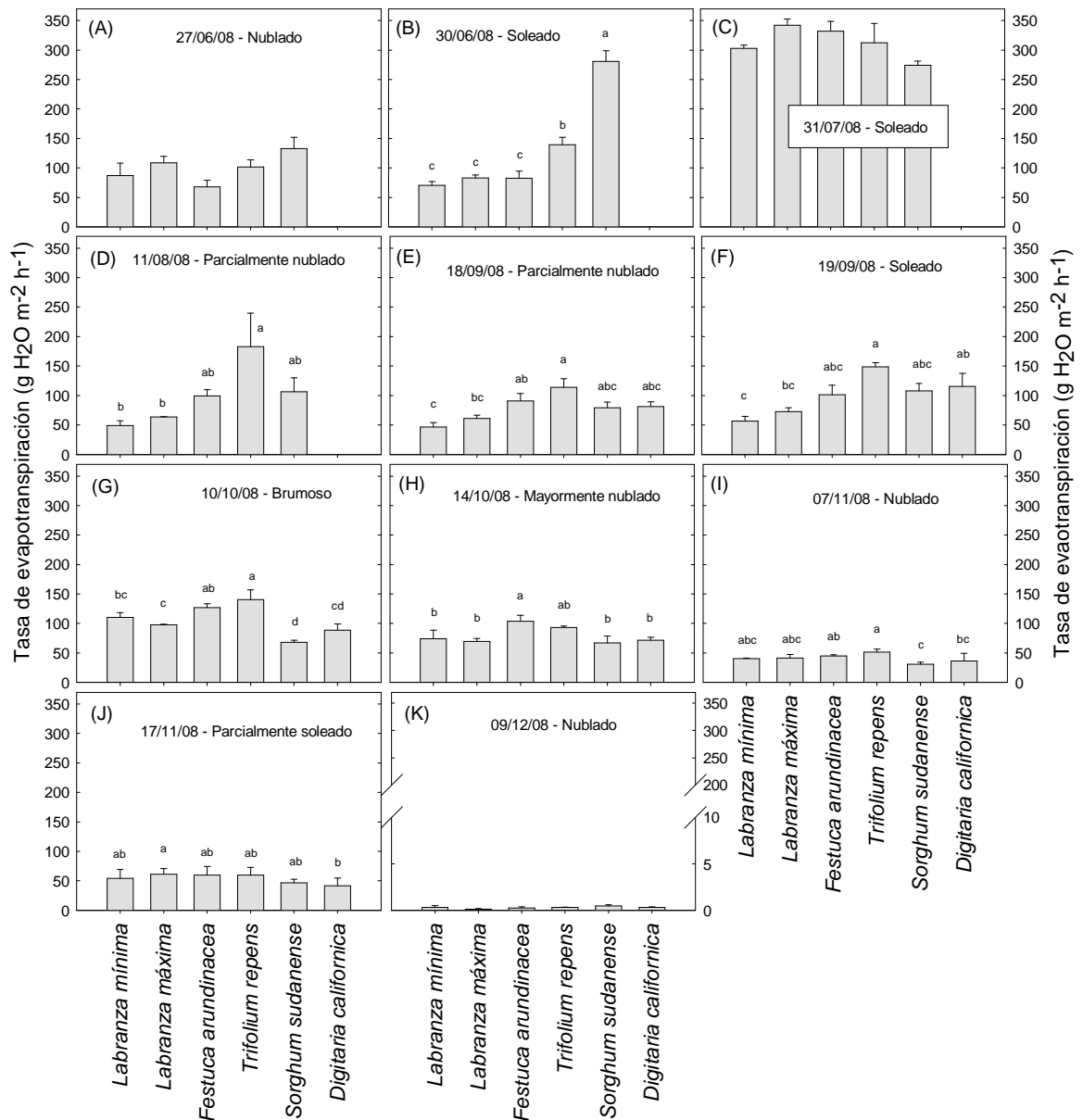


Figura 3.6. Tasas de evapotranspiración para diferentes especies de cobertura vegetal e intensidades de labranza del suelo, en el transcurso del año 2008. Mediciones efectuadas entre las 12 y 15 hora local. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=3$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

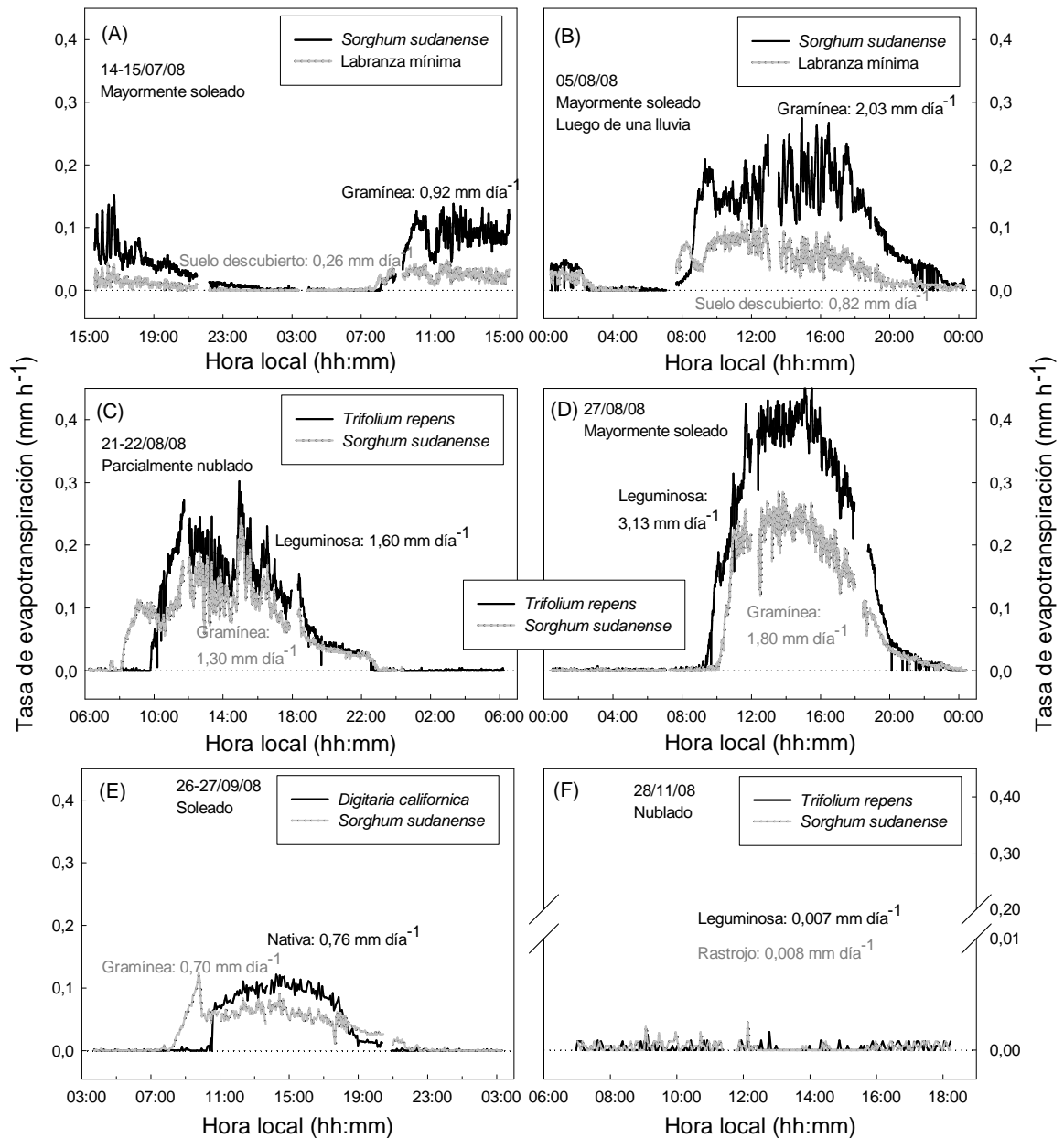


Figura 3.7. Tendencias diurnas de evapotranspiración (E_{vt}) para diferentes especies de cobertura vegetal y suelo descubierto, en el transcurso del año 2008. La escala de tiempo del eje varía entre los gráficos, debido a que difiere la hora de inicio de las mediciones. En el gráfico (F) la escala de E_{vt} fue alterada para una presentación más clara de los datos.

Tasas de asimilación o emisión de dióxido de carbono

Durante el período de establecimiento de las especies (junio y julio, Figura 3.8A a C), *S. sudanense* fue la única que exhibió tasas de asimilación de carbono significativas, en mediciones tomadas al mediodía, alcanzando $-3,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (el signo negativo significa fijación de CO_2 desde la atmósfera, con tasas positivas de asimilación) para fines de julio debido a su alta capacidad fotosintetizante y sustancial cobertura del suelo (*cf.* Figura 3.4). Para el resto de las especies, el balance de CO_2 fue negativo y solo *T. repens* comenzó a mostrar tasas de asimilación positivas a mediodía, para finales del mes de julio (Figura 3.8C). El balance diario de carbono durante este período estuvo fuertemente influenciado por las tasas de respiración nocturnas (Figura 3.9A y B). Mientras que entre el 14 y 15 de julio el balance diario de CO_2 del tratamiento de *S. sudanense* fue de $-6,8 \text{ g}$ de CO_2 fijados por $\text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, con una asimilación diaria máxima y tasa de respiración nocturna de $\approx -1,3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y $0,38 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (Figura 3.9A), para el día 5 de agosto luego de segado, el balance fue de solo $-0,97 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ con similares tasas máximas de asimilación ($\approx 1,4 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), pero mayores tasas de respiración nocturnas superiores a los $1,3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 3.9B). Asimismo, la temperatura mínima nocturna a principios de agosto fue cerca de 2°C superior a la de las mediciones de julio ($12,7^\circ\text{C}$ comparado con 11°C , *cf.* Tabla 3.1), contribuyendo probablemente también al incremento en la respiración.

Los dos tratamientos con suelo descubierto (LMax y LMin) evidenciaron tasas de emisión de CO_2 al mediodía, que fueron desde $0,4$ a $1,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 3.8A a C). La emisión diaria total de CO_2 de un suelo descubierto sin labranza fue de $2,9 \text{ g m}^{-2}$ (Figura 3.9A). Comparando flujos de CO_2 entre labranza mínima y máxima a través del año, se encontraron tasas ligeramente mayores de respiración en LMax solamente durante días de verano con temperaturas relativamente elevadas (Figura 3.8A a C, *cf.* Tabla 3.1).

Desde agosto a noviembre, *T. repens* alcanzó las mayores tasas de asimilación al mediodía (Figura 3.8D a J). Durante Septiembre, las cuatro especies bajo estudio, las cuales habían alcanzado todas una cobertura de suelo superior al 60%, mostraron asimilación de carbono siendo *D. californica* levemente más activa que *S. sudanense* y *F. arundinacea* (Figura 3.8E y F), aunque sin diferencias significativas. La comparación

durante 24 horas del balance de carbono entre la gramínea C₄ (SO) y la leguminosa (TR), entre el día 21 y el 27 de agosto, mostró que durante un día parcialmente nublado (21 de Agosto) el balance fue similar (-11.31 g m⁻² d⁻¹ para TR y -10.79 g m⁻² d⁻¹ para SO) (Figura 3.9C), mientras que durante un día soleado como el 27 de Agosto, el balance de carbono de TR fue aproximadamente el doble que el de SO (-30.5 g CO₂ m⁻² d⁻¹ y -14.8 g CO₂ m⁻² d⁻¹ respectivamente)(Figura 3.9D).

Para fines de Septiembre, SO y DI, las dos gramíneas estivales fueron comparadas durante un día completo. DI tuvo mayores tasas de asimilación diarias de CO₂ (por encima de -1,2 g m⁻² h⁻¹) comparada con SO (más de -0,5 g m⁻² h⁻¹) y como la liberación nocturna de CO₂ por parte de SO fue mayor que la de DI (Figura 3.9E), SO presentó balance de carbono diario negativo con una tasa de emisión de 2,9 g m⁻² d⁻¹, mientras que DI asimiló - 5,1 g m⁻² d⁻¹ (Figura 3.9E).

Durante Octubre, TR, FE y DI tuvieron tasas de asimilación positivas (Figura 3.8G y H) con DI disminuyendo continuamente como indicador de la finalización de su ciclo anual. Los tratamientos con especies de actividad estival (SO y DI) fueron acercándose a la dormancia invernal para Noviembre, mostrando tasas de emisión de CO₂ al mediodía (Figura 3.8I), lo cual se observa también para SO en el seguimiento diario (Figura 3.9F). Aunque los valores fueron muy bajos y sin diferencias significativas respecto de LMin y LMax, SO (con elevada cantidad de rastrojo) presentó tendencia a una mayor tasa de emisión, en relación con el resto de los tratamientos (Figura 3.8I y J) tal como se observó en las mediciones en el transcurso del día (Figura 3.9E).

Específicamente durante los meses más fríos, las especies C₄ (SO y DI) tuvieron un desempeño inferior que las especies C₃ (TR y FE) lo cual no fue relacionado con la cobertura de suelo, sino más bien por los diferentes caminos metabólicos.

Las tasas de emisión de un suelo descubierto, desde agosto hasta octubre, oscilaron entre 0,1 y 0,3 g CO₂ m⁻² h⁻¹ (no se encontraron diferencias entre LMin y LMax) (Figura 3.8D a F) y al parecer no afectadas por diferencias en la temperatura. Durante diciembre,

con una temperatura no superior a los 3°C y poca insolación, se observaron muy bajos niveles de actividad para todos los tratamientos (emisión de CO₂) (Figura 3.8K).

Durante toda la temporada, la leguminosa (trébol blanco, TR), una vez establecida, mostró mayores tasas de fijación de CO₂ y consumo de agua más elevado que el resto de las especies estudiadas.

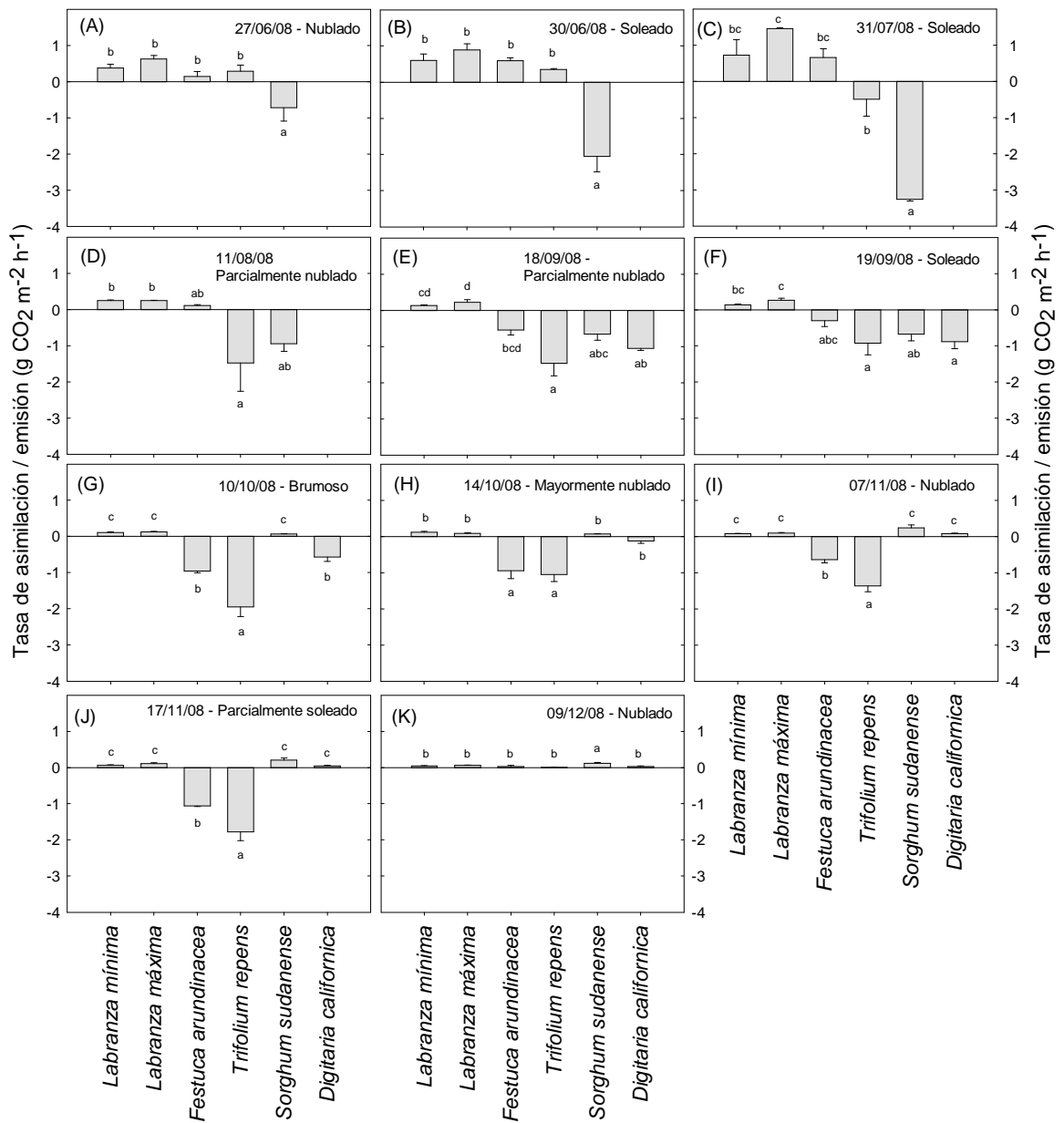


Figura 3.8. Tasas de asimilación (-) o emisión (+) de dióxido de carbono para diferentes especies de cobertura vegetal e intensidades de labranza, en el transcurso del año 2008. Mediciones efectuadas entre las 12 y 15 hora local. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=3$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

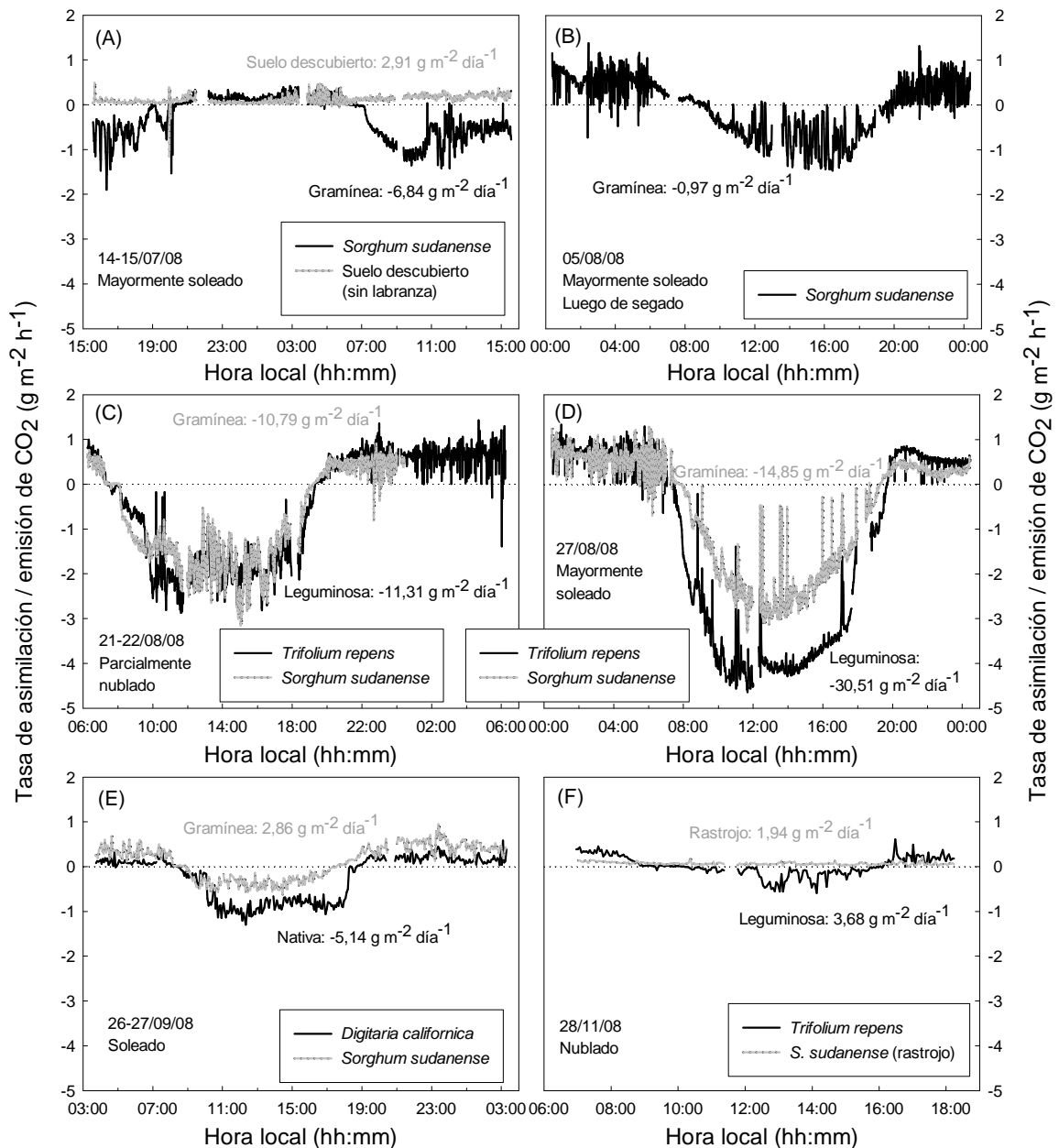


Figura 3.9. Tendencias diarias de asimilación (-) o emisión (+) de dióxido de carbono para diferentes especies de cobertura vegetal y suelo descubierto, en el transcurso del año 2008. La escala de tiempo del eje varía entre los paneles, debido a que difiere la hora de inicio de las mediciones. El gráfico (B) carece de valores para el tratamiento TMin debido a problemas en el equipamiento y por la misma razón el gráfico (F) solo presenta mediciones entre las 7 y 18 hora local.

Eficiencia en el uso del agua

La Tabla 3.3 muestra valores de eficiencia en el uso del agua (*Eua*) para las diferentes especies y en distintas escalas de tiempo (períodos de 3 h o 24 h). Los valores de *Eua* ($\text{g CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) estuvieron estrechamente relacionados con el grado de cobertura del suelo, el estado fenológico de las especies y las condiciones ambientales (temperatura y radiación). Dado que las mediciones se llevaron a cabo en parcelas que poseían una proporción con suelo cubierto y otra con suelo descubierto, la *Eua* fue influenciada considerablemente por la proporción de suelo desnudo evaporando libremente. La especie más rápida en establecerse fue *S. sudanense* y durante su proceso de establecimiento (con aproximadamente 60% de cobertura), sus valores de *Eua* estuvieron entre -6,7 (nublado, temperatura máxima de 22,8°C) y -7,2 g kg^{-1} (soleado, temperatura máxima de 27,4°C). Una vez que SO estuvo establecido (cobertura superior al 80%), los niveles de eficiencia oscilaron entre -7,4 y -11,9 g kg^{-1} durante un día cálido con alta humedad luego de una lluvia. La *Eua* disminuyó rápidamente inmediatamente después de segar la cobertura vegetal, cayendo a -0,5 g kg^{-1} , debido a la sustancial reducción en la asimilación de CO_2 como resultado de las elevadas tasas de respiración (cf. Figura 3.9B). Entre agosto y septiembre los valores de *Eua* se mantuvieron entre -6,8 y -9,5 g kg^{-1} .

La *Eua* para *T. repens*, una especie perenne de establecimiento lento, comenzó en -1,6 g kg^{-1} durante su fase de crecimiento (fines de julio con cerca del 50% de cobertura de suelo), hasta incrementar gradualmente hasta entre -6,1 y -11,9 g kg^{-1} para mediados de septiembre con más del 90% de cobertura. Para esa fecha, los tratamientos de SO, TR y DI alcanzaron todos más del 80% de cobertura de suelo, sin embargo la *Eua* de la especie C_3 (TR) y las C_4 (SO y DI) fue similar. Entre las C_4 , existió una tendencia a presentar valores levemente superiores de *Eua* para DI (-13,2 y -8,8 g kg^{-1}) comparado con SO (-9,5 y -6,8 g kg^{-1}), debido a las mayores tasas de fotosíntesis neta (cf. Figura 3.8E a H).

En los tratamientos con especies activas durante el verano (SO y DI), la *Eua* decreció gradualmente para fines de septiembre y principios de octubre de manera simultánea a la finalización de sus ciclos vegetativos. Las especies perennes de actividad

invernal (FE y TR), se mantuvieron activas durante el otoño e inicios del invierno, con un incremento de la *Eua* (Tabla 3.3) debido a la reducción de la demanda evaporativa.

Tabla 3.3. Eficiencia en el uso del agua para diferentes coberturas vegetales ($\text{g CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) en diferentes momentos del año. Los datos son integrales para las mediciones entre las 12 y 15 hora local. Valores resaltados en gris son integrales de períodos de 24 h aunque sin repeticiones. Para cada fila, letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=3$), mientras que el error estándar se muestra entre paréntesis.

Fecha (dd/mm/aaaa)	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Sorghum sudanense</i>	<i>Digitaria californica</i>
27/06/2008			-6,7 (1,9)	
30/06/2008			-7,2 (1,1)	
14/07/2008			-7,4	
31/07/2008		-1,6 (1,6) b	-11,9 (0,4) a	
05/08/2008			-0,5	
11/08/2008		-6,6 (3,8)	-7,7 (0,5)	
21/08/2008		-7,1	-8,3	
27/08/2008		-9,7	-8,3	
18/09/2008	-6,7 (1,3) b	-11,9 (2,1) ab	-9,5 (1,2) ab	-13,2 (0,8) a
19/09/2008	-2,5 (1,3) b	-6,1 (1,4) ab	-6,8 (1,5) ab	-8,8 (0,3) a
26/09/2008				-6,8
10/10/2008	-7,7 (0,2) ab	-14,4 (3,7) a		-6,9 (2,1) b
14/10/2008	-7,5 (1,2) ab	-14,5 (3,3) a		-1,9 (0,8) b
07/11/2008	-14,0 (1,4) a	-25,4 (4,7) a		
17/11/2008	-19,9 (4,5) b	-34,4 (3,9) a		

DISCUSIÓN

Cobertura vegetal

La especie anual estival (*Sorghum sudanense*), confirmó su rápido crecimiento y gran desarrollo vegetativo. Aunque tardó más que el resto en establecerse, *Digitaria californica* alcanzó una elevada cobertura de suelo. Este retraso pudo haber estado relacionado al hecho de que se trata de una especie adaptada a zonas con estación cálida

como lo es la región de la provincia de Mendoza de donde son originarias las semillas y con suelos muy diferentes al del sitio de ensayo en Geisenheim. Por otra parte, *Festuca arundinacea*, a pesar de estar adaptada a estaciones frescas, no pudo completar su ciclo reproductivo. Si bien es una especie perenne conocida por su rápido crecimiento, existen cultivares menos competitivos de baja estatura y utilizados para césped (Ingels *et al.*, 1998), pudiendo ser éste el caso utilizado en el ensayo, ya que la semilla no poseía cultivar identificado.

Cabe destacar la escasa adaptación que presentaron el resto de las especies nativas, mostrando dificultades para germinar y crecer en un ambiente más fresco, donde las temperaturas estivales son más moderadas que las de sus sitios de origen, y en un suelo de textura más fina y con mayor contenido de materia orgánica. Sin embargo, no se pueden descartar otras posibles causas del pobre establecimiento.

Contenido de agua en el suelo

Los patrones de extracción de agua reprodujeron la capacidad de crecimiento de raíces y la producción de biomasa atribuidas a algunas especies, donde *Trifolium repens* posee raíces más superficiales (Weaver, 1926; McGuire y Hannaway, 1984) y *S. sudanense* puede penetrar en capas más profundas del suelo (Kanneganti y Fick, 1991). Los cultivares forrajeros de *F. arundinacea* normalmente poseen un sistema radical fibroso, fuerte y profundo, el cual puede penetrar por debajo del metro de profundidad si la estructura del suelo lo permite (McGuire y Hannaway, 1984), pero el lento desarrollo y la restringida cobertura de suelo que manifestó el cultivar para césped, probablemente utilizado en el estudio, evitó la rápida exploración de sus raíces.

En regiones con climas cálidos y secos (Australia y Portugal), donde las capas más superficiales del suelo son propensas a una rápida desecación, las especies pueden mostrar una dinámica distinta en el contenido de agua en función de los tipos de cobertura verde, con marcadas fluctuaciones en las capas más profundas (Monteiro y Lopes, 2007; Tesic *et al.*, 2007).

Las coberturas vegetales de las especies ensayadas exploraron de manera diferencial las reservas de agua en el suelo. Por ejemplo, *T. repens* redujo notablemente la humedad del suelo en los primeros 60 cm de profundidad, mientras que *S. sudanense* presentó el menor contenido hídrico a mayor profundidad.

Tasa de evapotranspiración

Tal cual lo observado en el presente estudio, se ha demostrado previamente una gran variabilidad en la pérdida de agua entre suelos cultivados y suelos descubiertos (Prichard, 1998; Monteiro y Lopes, 2007).

Las tasas de *Evt* de *S. sudanense* fueron menores a las reportadas en una experiencia en Texas (EEUU) para la cuantificación del uso del agua comparando el método del coeficiente de Bowen con una cámara de mayor tamaño (3,3 m³), donde tuvo valores al mediodía de 0,6 mm h⁻¹ (equivalente a 600 g H₂O m⁻² h⁻¹) y una *Evt* diaria de 4,9 mm con una cobertura de 77% y un potencial (atmosférico) de *Evt* de 5,4 mm. No obstante, en aquella investigación el suelo fue recargado completamente luego de un evento de lluvia previo y gran parte de la *Evt* medida se cree que fue dada por la evaporación de la superficie del suelo (Dugas *et al.*, 1997).

Datos de campo para *T. repens* a finales del verano, confirman tasas de *Evt* al mediodía y consumos diarios de agua similares a los obtenidos (Pfister, 2005). Coincide con lo informado por Nijs *et al.* (1989), quienes determinaron un uso de agua de 3,69 mm d⁻¹ para un cultivo completamente desarrollado en un corto período bajo condiciones óptimas en un invernadero, asimismo, Yunusa *et al.* (1997) encontraron tasas de transpiración de más de 3 mm d⁻¹ en el Sud-Este de Australia con una mezcla de *T. repens* y *Lolium perenne* en un viñedo bajo riego superficial. *T. repens* es conocida por su buena adaptación a suelos húmedos (Ingels *et al.*, 1998), pero puede mantener también valores de conductancia estomática relativamente altos y bajos potenciales de agua en condiciones de estrés hídrico (Aparicio-Tejo *et al.*, 1980). Bajo las condiciones de experimentación del ensayo y una vez establecido en época de actividad vegetativa, *T. repens* consumió más agua y tuvo mayores tasas de asimilación en comparación con las gramíneas C₄.

D. californica tuvo un mejor desempeño cuando los niveles de humedad del suelo fueron en general más bajos, siendo una especie conocida por su resistencia a la sequía (Noy-Meir, 1973; Smith *et al.*, 2006).

Durante el otoño *T. repens* y *F. arundinacea* se mantuvieron en actividad, ambas son conocidas por sus extendidos períodos de crecimiento (Bowman *et al.*, 1998; Ingels *et al.*, 1998), habiéndose registrado tasas de *Evt* superiores a 1 mm d⁻¹ para *F. arundinacea* durante el mes de noviembre en California (Youngner *et al.*, 1981).

En general, para todos los tratamientos las tasas de *Evt* se redujeron sustancialmente durante el otoño y tendieron a cero en invierno.

Tasas de asimilación o emisión de dióxido de carbono

De acuerdo a lo observado en las mediciones de intercambio de CO₂ durante el verano, tanto el incremento en la temperatura mínima nocturna como la presencia de restos vegetales (rastrojo) producto de los segados, pueden haber contribuido al incremento en las tasas de respiración de la cobertura verde (Berry y Bjorkman, 1980; Steenwerth y Belina, 2008).

Los datos de emisión de CO₂ en las alternativas con suelo descubierto son comparables a otros antecedentes obtenidos bajo condiciones climáticas similares en Alemania (Søe *et al.*, 2004) y con diferentes tipos de cámaras (Dugas *et al.*, 1997). Comparando la emisión entre labranza máxima y mínima sólo se encontraron diferencias pequeñas o poco significativas. La labranza repetida reduce el contenido de carbono en el suelo por exposición de la materia orgánica protegida al consumo microbiano y oxidación, causando un incremento en la respiración del suelo (Reicosky, 1997). Otros estudios han mostrado diferencias mayores entre tratamientos de labranza para suelos de viñedos (Sirca *et al.*, 2004; Steenwerth *et al.*, 2010) pero la respiración es altamente dependiente del tipo de suelo, biomasa microbiana y de raíces (Rustad *et al.*, 2000) y fuertemente modificada por la temperatura del suelo (Fang y Moncrieff, 2001). Esta última puede haber sido la razón por la cual en el presente ensayo las diferencias solo fueron detectadas con altas

temperaturas, a pesar de que otra experiencia *in situ* en viñedos solo mostró una pobre correlación con la temperatura (Sirca *et al.*, 2004).

Los datos publicados sobre la capacidad de adquisición de CO₂ de algunas de las especies estudiadas, muestran para *T. repens* tasas de asimilación al mediodía de entre -0,63 y -2,1 g m⁻² h⁻¹, para diferentes cultivares que varían en el tamaño de la hoja (Malinowski *et al.*, 1998) y un balance de carbono diario promedio de -15,8 g CO₂ m⁻² d⁻¹ fue registrado para períodos extendidos de crecimiento (Nijs *et al.*, 1989), apoyando los datos obtenidos en este estudio. Para *S. sudanense* se reportan rangos de asimilación de carbono mucho mayores, variando entre -3,7 y -51 g CO₂ m⁻² d⁻¹ dependiendo de la radiación solar durante la fase de desarrollo vegetativo en el campo (Kanneganti y Fick, 1991) hasta -6,6 g CO₂ m⁻² d⁻¹ medido con un sistema de cámara y -26,4 g CO₂ m⁻² d⁻¹ basado en estimaciones usando el método de la proporción de Bowen (Dugas *et al.*, 1997) indicando que tanto las condiciones climáticas imperantes durante las mediciones, como el tipo de mediciones aplicadas, desempeñan un papel fundamental.

D. californica tuvo un buen comportamiento, aunque no alcanzó los valores obtenidos por Cox *et al.* (1992) en condiciones cálidas y secas de Arizona, similares a las de su sitio de origen en Mendoza, donde alcanzó tasas de asimilación al mediodía de -0,5 a -3,8 g m⁻² h⁻¹ hasta acercarse a la latencia al final de su período de crecimiento.

Las tasas de fijación de CO₂ de *F. arundinacea* durante octubre fueron similares a aquéllas reportadas por Bélanger y colaboradores (1994) para condiciones de fines de temporada.

Como resultado de la comparación de las diferentes rutas fotosintéticas, las especies C₄ fueron menos eficaces que las C₃, durante los meses fríos (Berry y Bjorkman, 1980). Los resultados globales se pueden explicar por diferencias en la concentración de nitrógeno (N) en las hojas, dado que la capacidad fotosintética está más o menos relacionada con el N, debido a su localización en la proteína fotosintética (Hikosaka *et al.*, 1998). *T. repens* puede alcanzar muy altas concentraciones de N en hoja (4-5%) (Sturite *et al.*, 2006) en comparación con *F. arundinacea* (2,7%) (Gáborčík, 2003), y para especies C₄ *D.*

californica puede tener, avanzada la temporada, mayores concentraciones (3,4%) (Cox *et al.*, 1992) que *S. sudanense* (2,2 a 2,4%) (Kizil *et al.*, 2010).

En el transcurso del invierno se detectaron niveles muy bajos de emisión de CO₂ en todos los tratamientos, típico para condiciones de baja temperatura e iluminación (Frank *et al.*, 2002).

Las coberturas vegetales tuvieron un balance de asimilación positivo durante la mayor parte de la temporada, mientras que el suelo descubierto emitió siempre CO₂. La asimilación neta disminuyó inmediatamente después del segado de *S. sudanense*, debido a altas tasas de respiración probablemente causada por la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, la recuperación fue rápida y altas tasas de eficiencia en el uso del agua fueron restablecidas en unos pocos días.

Cuando las especies de actividad estival (C₄) finalizaron su ciclo de crecimiento, los niveles de asimilación disminuyeron sustancialmente y eventualmente estas especies mostraron tasas de emisión de CO₂ similares a las de un suelo descubierto.

Eficiencia en el uso del agua

Durante el período de establecimiento de las especies, el incremento en la cobertura del suelo motivó un incremento de la *Evt*, pero también en la asimilación de CO₂, lo cual mejoró la eficiencia en el uso del agua (*Eua*).

Los valores de *Eua* obtenidos para *S. sudanense* ya establecido, durante los meses de verano, son comparables a los observados en otras gramíneas C₄ (Singh y Misra, 1985). Katerji *et al.* (2008), en Italia, efectuaron una revisión de la *Eua* en diferentes cultivos mediterráneos y reportó valores de entre -3,7 y -4,2 g kg⁻¹ para sorgo dulce creciendo bajo alta demanda evaporativa (alta *Evt*).

Los valores levemente superiores de *Eua* en *D. californica* cuando se lo compara con *S. sudanense*, se relacionan a las mayores tasas fotosintéticas, lo cual puede haber sido

también la razón del buen desempeño de *T. repens* (Nijs *et al.*, 1989). Beale *et al.* (1999) encontró igualmente mayor *Eua* para la más productiva de dos especies C₄ estudiadas.

Los mayores niveles de *Eua* fueron registrados para especies perennes en días con temperaturas bajas, confirmando lo verificado en investigaciones previas con diferentes pastos tropicales y de zonas templadas (Downes, 1969).

Los resultados obtenidos con las mediciones mediante la cámara para canopia, no mostraron evidencias que confirmen fehacientemente lo generalmente aceptado, en relación a que las especies C₄ tienen un mejor desempeño durante los días más cálidos del verano, en comparación con las especies C₃ (Downes, 1969; Ehleringer, 1978; Greco y Cavagnaro, 2005). Este hecho está posiblemente relacionado al sitio de estudio (Geisenheim, Alemania), el cual posee clima templado con veranos de temperatura moderada y mayor humedad atmosférica.

CONCLUSIONES

Ciertas especies de cobertura vegetal como *T. repens* consumieron el agua acumulada en las capas más superficiales del suelo, mientras que otras como *S. sudanense* mostraron la capacidad de extraer el agua disponible también en las capas más profundas.

Durante el período de establecimiento de las especies en condiciones de campo, el aumento en la cobertura del suelo motivó un incremento de la evapotranspiración (*Evt*) y asimilación de CO₂, optimizando la eficiencia en el uso del agua (*Eua*). Las mayores tasas de asimilación y *Evt* fueron registradas para la especie anual de actividad estival durante días calurosos con elevada disponibilidad de agua. Las tasas de *Evt*, en general, fueron sustancialmente reducidas en otoño y tendieron a cero en invierno. Los cultivos de cobertura tuvieron un balance positivo de asimilación de CO₂ durante la mayor parte de la temporada, mientras que el suelo descubierto se mantuvo emitiendo CO₂.

La asimilación neta de CO₂ disminuyó inmediatamente después del corte de una cobertura verde debido a la elevada tasa de respiración, causada probablemente por la

actividad microbiana involucrada en la descomposición de la materia orgánica. De cualquier manera, la recuperación fue rápida y unos días más tarde las plantas recuperaron sus niveles de asimilación neta.

Bajo las condiciones ambientales del estudio, la leguminosa *T. repens* consumió más agua y tuvo mayores tasas de asimilación que las gramíneas C₄.

Cuando las especies de actividad estival (C₄) finalizaron su ciclo de crecimiento, los niveles de asimilación de CO₂ disminuyeron significativamente y eventualmente estas especies mostraron niveles de emisión similares al de los suelos descubiertos.

Cuando las especies estuvieron activas y con similares grados de cobertura del suelo, no se detectaron diferencias significativas de *Eua* entre especies C₃ y C₄. Los mayores valores de *Eua* se registraron para las especies perennes durante días con baja temperatura.

Las especies nativas seleccionadas *N. tenuis*, *S. cryptandrus*, *L. dubia*, *P. caespitosum* y *S. mendocina* no lograron sobrevivir en el sitio de experimentación, sólo *Digitaria californica* pudo germinar y crecer satisfactoriamente. La mayor plasticidad manifestada por esta última especie puede determinar su utilización en zonas vitivinícolas más templadas, generalmente de mayor altitud, dentro de la provincia de Mendoza.

La metodología usada para medir intercambio gaseoso a nivel de planta entera permitió diferenciar el comportamiento de diferentes cultivos de cobertura y el suelo descubierta. Sin embargo, las notables diferencias agroecológicas entre el sitio de experimentación en Alemania y las condiciones de Mendoza establecen la necesidad de estudiar la fisiología de las especies nativas en su sitio de origen.

INTERCAMBIO GASEOSO Y EFICIENCIA HÍDRICA DE CULTIVOS DE COBERTURA DE ESPECIES NATIVAS, EXÓTICAS CULTIVADAS Y MALEZAS, EN MACETAS

INTRODUCCIÓN

Como se expresó previamente, los cultivos de cobertura se utilizan en la agricultura con diversos objetivos, proporcionando numerosos beneficios para el suelo, los ecosistemas y en definitiva para las personas. La especie de cobertura vegetal a utilizar y su manejo están condicionados fuertemente por la disponibilidad hídrica. Teniendo en cuenta las grandes diferencias detectadas en el comportamiento de diversas especies (Lopes *et al.*, 2004), resulta fundamental profundizar en la cuantificación del consumo de agua por parte de diferentes coberturas y la eficiencia de su uso. Se sabe asimismo que la eficiencia en el uso del agua de las especies varía de acuerdo al estado hídrico del suelo (Singh y Misra, 1985).

Se vislumbra que las especies herbáceas autóctonas, mayormente gramíneas, que predominan espontáneamente en viñedos manejados con riego localizado, pueden constituirse en una alternativa viable dentro de dichos ambientes.

Se advierte además que la cobertura verde puede colaborar en el secuestro de carbono, mediante el aporte de materia orgánica a los suelos (Sainju *et al.*, 2002). Resulta de interés entonces medir, paralelamente a través del seguimiento del flujo de gases, esta potencial fijación de CO₂ para verificar las diferencias entre los distintos tipos de cultivos de cobertura.

En el capítulo previo se observó que la mayoría de las especies nativas no prosperaron en ensayos de campo, con condiciones climáticas muy distintas a las de sus

zonas de origen, confirmando la necesidad de efectuar estudios en un ambiente más controlado, como lo son las macetas, y específicamente en el lugar originario de las especies autóctonas.

Hipótesis

Las especies nativas usadas como cultivos de cobertura son más eficientes en el uso del recurso hídrico, consumiendo menos agua que las introducidas (exóticas cultivadas y malezas) por cada gramo de dióxido de carbono fijado en el proceso de fotosíntesis.

Objetivo

Comparar la eficiencia en el uso del agua de cultivos de cobertura nativos y especies introducidas a nivel del sistema planta entera-suelo, bajo diferentes condiciones de humedad en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se proyectó un estudio en macetas para comparar el comportamiento del grupo de especies herbáceas nativas seleccionadas en tres zonas vitícolas de la provincia de Mendoza, tres especies exóticas cultivadas; una leguminosa y una gramínea, ambas perennes, junto a una gramínea anual invernal; y dos malezas perennes de actividad estival de amplia difusión.

Sitio y diseño experimental

El ensayo se desarrolló en la EEA Mendoza del INTA, ubicada en Luján de Cuyo, Mendoza (latitud: 33°00'21'' S, longitud: 68°51'53'' O, altitud: 929 m.s.n.m., estación meteorológica de referencia "Chacras de Coria", *cf.* Figura 2.2). Los datos meteorológicos del período de experimentación se presentan en la Figura 4.1.

El diseño de las unidades experimentales (macetas) fue de parcelas completamente al azar con once tratamientos de diferentes cultivos de cobertura (*cf.* Tablas 2.3 y 2.4), un testigo con suelo descubierto y cinco repeticiones por tratamiento (Anexo 5). Las especies perennes fueron establecidas en el mes de septiembre de 2007 mediante trasplante, mientras que la única anual (centeno) fue sembrada cada año en otoño de 2008 y de 2009. Las seis especies nativas escogidas para el ensayo provinieron de los sitios de observación como ya se expresara en el Capítulo 2, mientras que las especies exóticas cultivadas y malezas perennes fueron obtenidas de la finca de la EEA Mendoza INTA.

Para el posterior análisis, las especies fueron agrupadas según sus atributos funcionales y origen, así quedaron conformados los diferentes grupos:

- Gramíneas perennes nativas C₄: *D. californica*, *L. dubia*, *S. cryptandrus*, *S. mendocina* y *P. caespitosum*.
- Gramínea perenne nativa C₃: *N. tenuis*.
- Malezas gramíneas perennes C₄: *S. halepense* y *C. dactylon*.
- Gramínea anual cultivada C₃: *S. cereale*.
- Cultivadas perennes C₃: *T. repens* y *F. arundinacea*.

En macetas plásticas de 30 litros de capacidad (diámetro: 0,40 m; altura: 0,34 m) conteniendo un sustrato compuesto por 60% de turba, 30% de perlita (granulado volcánico) y 10% de tierra de embanque (franco-arenosa, libre de malezas), se implantaron tres individuos adultos de cada especie perenne por maceta, a fin de obtener en pocos meses una alta proporción del área cubierta con cada cultivo de cobertura. En la especie anual, donde se preveía un nivel de cobertura muy bajo durante su establecimiento, se elevó la densidad de plantas oscilando entre 6 a 12 plantas por maceta, provenientes de semilla. Macetas conteniendo el mismo sustrato fueron mantenidas libres de vegetación como tratamiento testigo con suelo descubierto. En el Anexo 6 se presenta la curva de capacidad hídrica del sustrato utilizado. Al inicio del ensayo fue necesario agregar 20 g de hidróxido de calcio por maceta, para corregir el pH del sustrato que se encontraba en valores cercanos a 4 (Anexo 7). Esto es debido al contenido de turba en el sustrato ya que en Mendoza, en general, es ácida.

Cada maceta recibió 15 litros de agua de pozo (Tabla 4.1) por cada riego, con una frecuencia de 7 a 12 días, según ensayo y época del año. Estos riegos se efectuaron en forma de lluvia mediante regadera. Debido a la aparición de síntomas de deficiencia nutricional en las coberturas, durante el segundo ciclo vegetativo (2008/09) se realizó la fertilización de las macetas mediante el agregado de urea (5 g por maceta) y la incorporación de un fertilizante líquido constituido por macro nutrientes y trazas de micro elementos (Nitrofoska SL; Grado N10% - P2% - K6%; 30 cm³ en 10 l de agua por maceta), a través del riego.

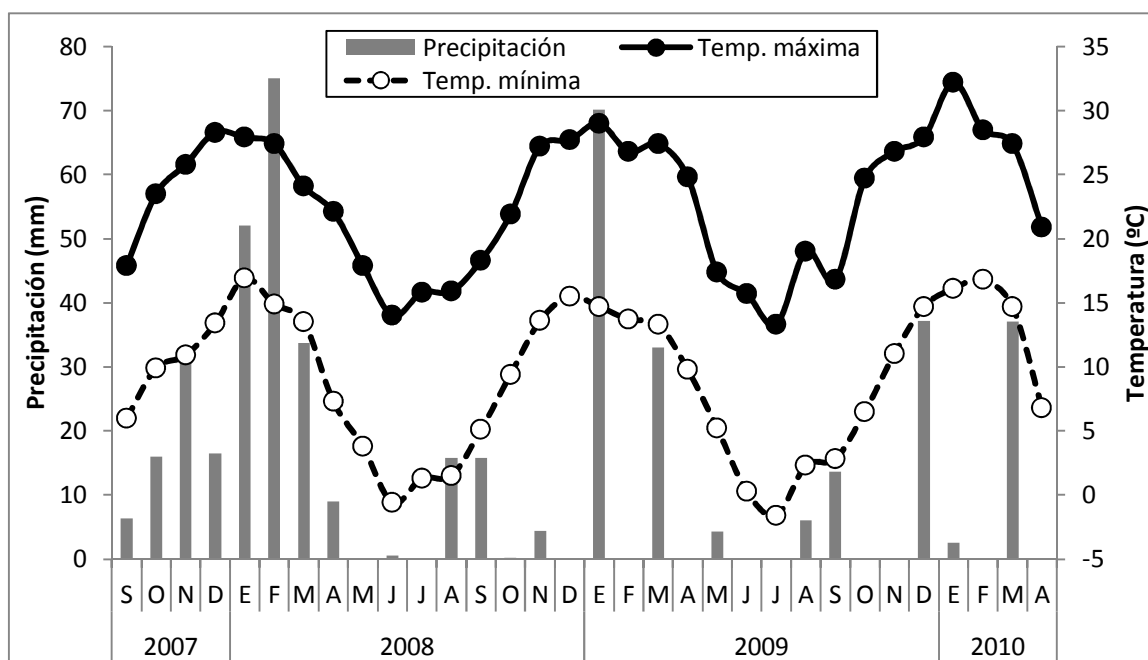


Figura 4.1. Datos meteorológicos del sitio de experimentación, en el transcurso del período de duración del ensayo (estación meteorológica "Chacras de Coria"). A partir de datos provistos por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.

Tabla 4.1. Análisis del agua de riego, proveniente de pozo, utilizada para regar las macetas del ensayo.

CEA (1) (dS m ⁻¹)	1,01
Sales probables (meq l ⁻¹)	11,9
pH	7,32
Cloruros (meq l ⁻¹)	2,1
Carbonatos (meq l ⁻¹)	0,0
Bicarbonatos (meq l ⁻¹)	2,9
Sulfatos (meq l ⁻¹)	5,7
Calcio + Magnesio (meq l ⁻¹)	7,9
Calcio (meq l ⁻¹)	6,4
Magnesio (meq l ⁻¹)	1,5
Sodio (meq l ⁻¹)	2,8
RAS (2)	1,4
RAS ajustado	1,9

Referencias: (1) Conductividad eléctrica actual. (2) Relación de absorción de sodio.

Consumo hídrico y mediciones de intercambio gaseoso

Se realizó un seguimiento periódico del consumo de agua de las diferentes coberturas vegetales, registrándose la pérdida de peso de las macetas después de un riego por el método gravimétrico mediante una balanza (Leal XXI, Tecnel, Mendoza, Argentina) y considerando despreciable el peso que pudo haber aportado el desarrollo vegetativo de las plantas entre pesadas. El contenido hídrico en el sustrato se expresó como porcentaje, respecto del contenido de agua en capacidad de campo (100%), denominándose “contenido relativo de agua en el sustrato” (*Cras*). La capacidad de campo se definió a partir del peso de las macetas 24 h después de un riego.

Las mediciones de intercambio gaseoso fueron realizadas mediante el sistema de cámara abierta para canopia (CPY-3, PP Systems, Hitchin, U.K.) modificada, descrita previamente en el Capítulo 3.

La pérdida total de agua por el sistema, fue calibrada a través de una serie de mediciones de peso, utilizando recipientes plásticos abiertos con agua y en ciertos casos plantas en maceta. Durante algunas de las calibraciones, el flujo de aire, determinado con un medidor de caudal de aire másico (AWM7, Honeywell, Golden Valley, MN, EUA), fue modificado bajo distintas condiciones de diferencias de presión de vapor (VPD), con el fin de probar la capacidad de respuesta del sistema (Figura 4.2).

Durante las mediciones, el sistema de cámara abierta para canopia trabajó con un suministro de aire de 50 a 65 l min⁻¹, valor ligeramente inferior a lo sugerido por el fabricante del equipo (PP System) (70 a 90 l min⁻¹), esto fue debido a una limitación presentada por el regulador de caudal de aire. Dependiendo de las condiciones externas, la temperatura del aire dentro de la cámara tuvo una desviación de +2 a +5°C respecto de la temperatura exterior.

Se realizaron dos tipos de mediciones durante las temporadas 2009 y 2010:

1- Intercambio gaseoso determinado a mediodía (entre las 11:00 y 15:00 h), en las diferentes estaciones del año. El equipo tomó datos automáticamente cada minuto durante un período de cinco minutos, antes de ser trasladado a la siguiente maceta. Se efectuaron mediciones en condiciones adecuadas de humedad de suelo y con restricción hídrica (dos y ocho días después de regar respectivamente).

Durante las mediciones de marzo de 2009, sin restricción hídrica (tres días después del riego), los tratamientos se dividieron en dos grupos y se midió en dos días consecutivos. Por ello solo es válido comparar los tratamientos evaluados en la misma fecha. En abril de 2009, con una restricción hídrica severa (16 días después de un riego), se evaluaron todos los tratamientos el mismo día.

2- Dinámica diaria del intercambio gaseoso, monitoreada en cinco momentos del día (pre-amanecer, media-mañana, mediodía, media-tarde y luego de la puesta del sol), en las cuatro estaciones del año. El equipo registró mediciones cada minuto durante tres minutos, antes de ser trasladado a la siguiente maceta. En este caso se seleccionaron tres tratamientos con cultivos de cobertura (FE, NA y DI) y el testigo con suelo descubierto (SU) teniendo en cuenta solo tres repeticiones, debido al tiempo demandado para efectuar las mediciones.

Valores negativos en las tasas de balance de CO₂ indicaron asimilación o fijación, mientras que valores positivos correspondieron a emisión o liberación de CO₂ a la atmósfera.

De acuerdo a las calibraciones efectuadas (Figura 4.2) y teniendo en cuenta el caudal de aire de trabajo utilizado (50 a 65 l min⁻¹), los valores de evapotranspiración calculados por el EGM4, para demandas evaporativas elevadas, fueron del 70% respecto de los determinados a través de la pérdida de peso en balanza. Estas diferencias pueden atribuirse a desviaciones en la calibración del sensor de humedad del sistema y el insuficiente caudal de aire de trabajo, de todas formas, puesto que fueron estables en el tiempo siguen siendo datos útiles para la comparación de las diferentes especies, con respecto a su uso relativo de agua. A los datos de evapotranspiración se les aplicó un factor de corrección de +30%, por la subestimación observada en comparación con el método gravimétrico.

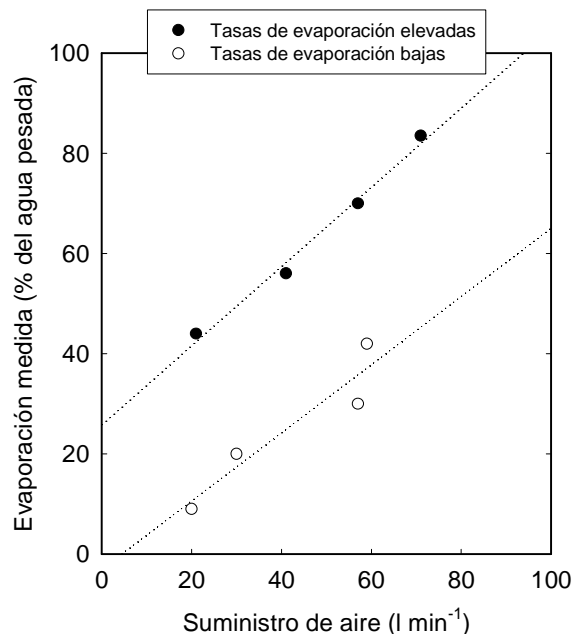


Figura 4.2. Relación entre la evaporación en recipientes con agua ubicados en el interior de la cámara y expuestos a diferentes tasas de suministro de aire, bajo demandas evaporativas elevadas (VPD: 1,17-1,45 kPa, temperatura del aire: 20,3-24,2°C) y bajas (VPD: 0,28-0,5 kPa, temperatura del aire: 9,5-11,1°C).

Cobertura del suelo y producción de materia seca

Se realizó el seguimiento de la proporción de suelo cubierto con los cultivos de cobertura o su rastrojo, dentro de las macetas, utilizando el método de la cuerda con cuentas (Sarrantonio, 1995). Cuando la altura de algunas de las especies superó los 0,40 m se efectuó el segado de las coberturas a una altura de 0,10 m, según lo sugerido por investigaciones previas (Cavagnaro y Dalmaso, 1983; Dalmaso *et al.*, 1983); el material extraído se secó hasta peso constante (a temperatura ambiente) para obtener el aporte de materia seca.

Técnicas estadísticas

Los resultados obtenidos se presentan en cuadros y gráficos, mientras que para el análisis estadístico de los mismos, se realizaron análisis de la varianza mediante el software Infostat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron comparadas empleando la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), debido al elevado número de tratamientos a contrastar (Atil y Unver, 2001). Se determinaron los errores estándares para las medias de los tratamientos, los cuales aparecen en figuras y tablas. Los gráficos fueron creados con el software Sigmaplot 11.0 (Systat Software Inc., 2008) y Excel 2010 (Microsoft Corporation, 2010).

RESULTADOS

Caracterización de la cobertura vegetal

En la Figura 4.3 se presenta el aporte de materia seca de cada cultivo de cobertura por encima de los 10 cm de altura. De manera general, las especies nativas tipo C₄ mostraron una tendencia a poseer los mayores valores de producción de materia seca, aunque solo *Leptochloa dubia* se diferenció estadísticamente de las malezas C₄. El aporte de la nativa C₃ fue significativamente inferior a tres de las nativas C₄, pero similar al de las

gramíneas exóticas cultivadas (ambas C₃) y las malezas C₄. La menor producción de materia seca fue registrada para *Trifolium repens* (trébol blanco).

Es necesario tener en cuenta que para determinadas especies de crecimiento rastrero o bajo porte, como por ejemplo en el caso de *T. repens*, en diversas oportunidades no fue posible extraer muestras de materia vegetal debido a la escasa altura de plantas, aun cuando presentaban elevados niveles de cobertura del suelo.

En el Figura 4.4 se muestra el seguimiento del grado de cobertura del suelo de las especies, para diferentes épocas del año. Los mayores niveles de cobertura verde fueron alcanzados por *Cynodon dactylon*, *Trifolium repens*, *Nassella tenuis* y *Festuca arundinacea*, quienes mantuvieron valores superiores al 80% durante gran parte del año y en algunos casos presentaron cobertura total (CY y TR) debido al tipo de crecimiento rastrero. Las especies nativas C₄ (SE, PA, DI, LE y SP) alcanzaron, durante otoño e invierno del 2009, una cobertura de suelo que osciló entre el 35% para *Sporobolus cryptandrus*, y el 65% para *Setaria mendocina*. A partir de la primavera de 2009 las nativas C₄ conservaron niveles de cobertura de entre 60 y 70%, con *Digitaria californica* llegando hasta valores del 90%.

La cobertura registrada en *Sorghum halepense* fue del 60% para otoño de 2009, la cual fue disminuyendo gradualmente hasta llegar al 40% en verano de 2010. *Secale cereale* alcanzó un valor máximo de cobertura de solo el 45%, ya que presentó una limitada capacidad de macollaje.

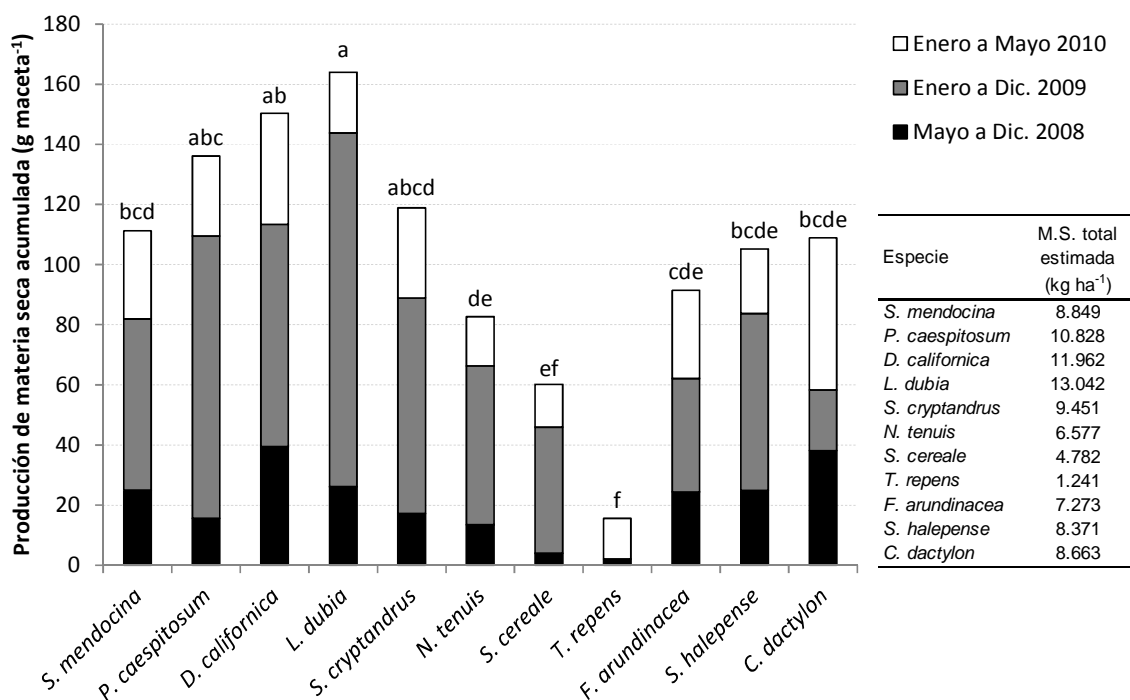


Figura 4.3. Producción total de materia seca por encima de 10 cm de altura de los diferentes cultivos de cobertura creciendo en macetas, discriminada para diferentes períodos del estudio. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). En la tabla contigua se estima la producción total de materia seca (M.S.) por hectárea.

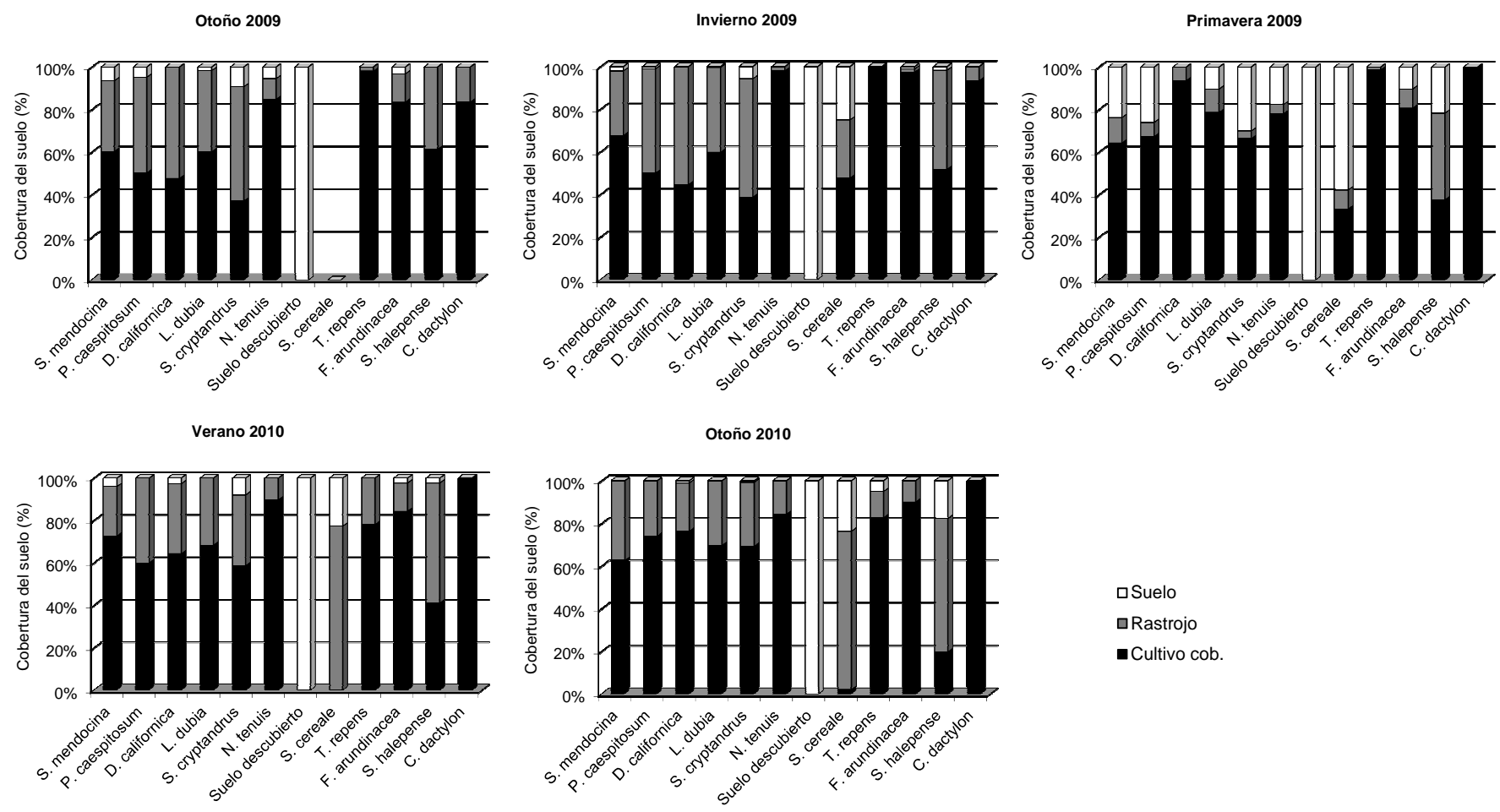


Figura 4.4. Porcentaje de cobertura del suelo en macetas con diferentes coberturas vegetales, discriminado en suelo descubierto, material vegetal seco (rastrojo) y cultivo de cobertura. Años 2009 y 2010.

Consumo hídrico de diferentes cultivos de cobertura (método gravimétrico)

En la Figura 4.5 se presenta el seguimiento de la evapotranspiración (*Evt*) media diaria para cada maceta, analizada por estación, durante el año 2009. En los meses definidos como verano de 2009 (enero, febrero y marzo), la especie nativa *Digitaria californica* se destacó por su mayor *Evt* (4,3 mm d⁻¹), seguida por *Cynodon dactylon* (maleza estival) y por otra nativa como *Leptochloa dubia* (3,9 y 3,8 mm d⁻¹ respectivamente). Las especies de menor consumo resultaron ser *Secale cereale* y *Sorghum halepense* (3 y 3,3 mm d⁻¹). El resto de las especies registró consumos intermedios, en comparación con la evaporación del suelo descubierto que fue de 2,6 mm d⁻¹. Cabe aclarar que durante este período (verano 2009) se sometió a las especies a cierto estrés hídrico, manteniendo una frecuencia de riego de 12 días. Bajo tales condiciones, dentro de las malezas estivales, la *Evt* de *S. halepense* fue significativamente menor que para *C. dactylon* (Figura 4.5A).

Durante otoño de 2009 (abril, mayo y junio) las especies de mayor consumo fueron *Trifolium repens* y *Festuca arundinacea* (2,8 y 2,7 mm d⁻¹), y a continuación la nativa *Nassella tenuis* (2,1 mm d⁻¹), las tres especies perennes originarias de zonas templadas. Todas las especies de actividad estival redujeron marcadamente su consumo, presentando valores similares a los de evaporación del suelo descubierto (1,7 mm d⁻¹) (Figura 4.5B).

En los meses invernales de 2009 (julio, agosto y setiembre) las especies destacadas por su mayor consumo hídrico fueron *T. repens* y *F. arundinacea* (1,7 mm d⁻¹), seguidas por *S. cereale* y *N. tenuis*, quienes no se diferenciaron significativamente de las anteriores ni del testigo. La evaporación del testigo con suelo descubierto (1,3 mm d⁻¹) fue significativamente superior a la *Evt* de las especies de ciclo estival (SE, PA, DI, LE, SP, SO y CY). Éstas no solo dejaron de transpirar, sino que redujeron la evaporación disminuyendo hasta valores de 0,8 a 0,9 mm d⁻¹. El caso extremo se observó en *C. dactylon*, quien tuvo un registro de menos de la mitad (0,6 mm d⁻¹) de lo evaporado con suelo descubierto (Figura 4.5C).

En el transcurso de la primavera de 2009 las especies de mayor *Evt* fueron *S. halepense*, *F. arundinacea*, *C. dactylon* y *S. cereale* (de 4,8 a 4,6 mm d⁻¹). Las nativas estivales (SE, PA, DI, LE, SP) mostraron valores algo más bajos que aquéllas (4,2 a 4,5 mm d⁻¹) aunque sin diferencias estadísticas. La nativa de ciclo invernal (*N. tenuis*) presentó el menor consumo (3,3 mm d⁻¹), no obstante sin significancia respecto de las anteriores. En esta época, al igual que en verano, la evaporación del suelo descubierto fue significativamente menor a la *Evt* del resto de los tratamientos, con la excepción de *N. tenuis* quien no se diferenció del anterior (Figura 4.5D).

Durante el verano de 2010 se aumentó la frecuencia de riego respecto del verano de 2009, pasando a regar las macetas cada siete días, con el objeto de disponer de mayor volumen hídrico de lixiviados para el riego de las vides (mayor superficie foliar). Bajo estas nuevas condiciones, *F. arundinacea* presentó el mayor valor de *Evt* (5,2 mm d⁻¹), seguida a continuación por *C. dactylon* y *T. repens* (4,8 y 4,7 mm d⁻¹) de quienes no se diferenció estadísticamente. Estas tres especies fueron las únicas en presentar un consumo significativamente mayor al suelo descubierto, mientras que las especies nativas (SP, LE, DI, SE, PA y NA), *S. cereale* y *S. halepense* (con valores de entre 4,0 y 4,5 mm d⁻¹) no se diferenciaron del testigo (3,9 mm d⁻¹) (Figura 4.6).

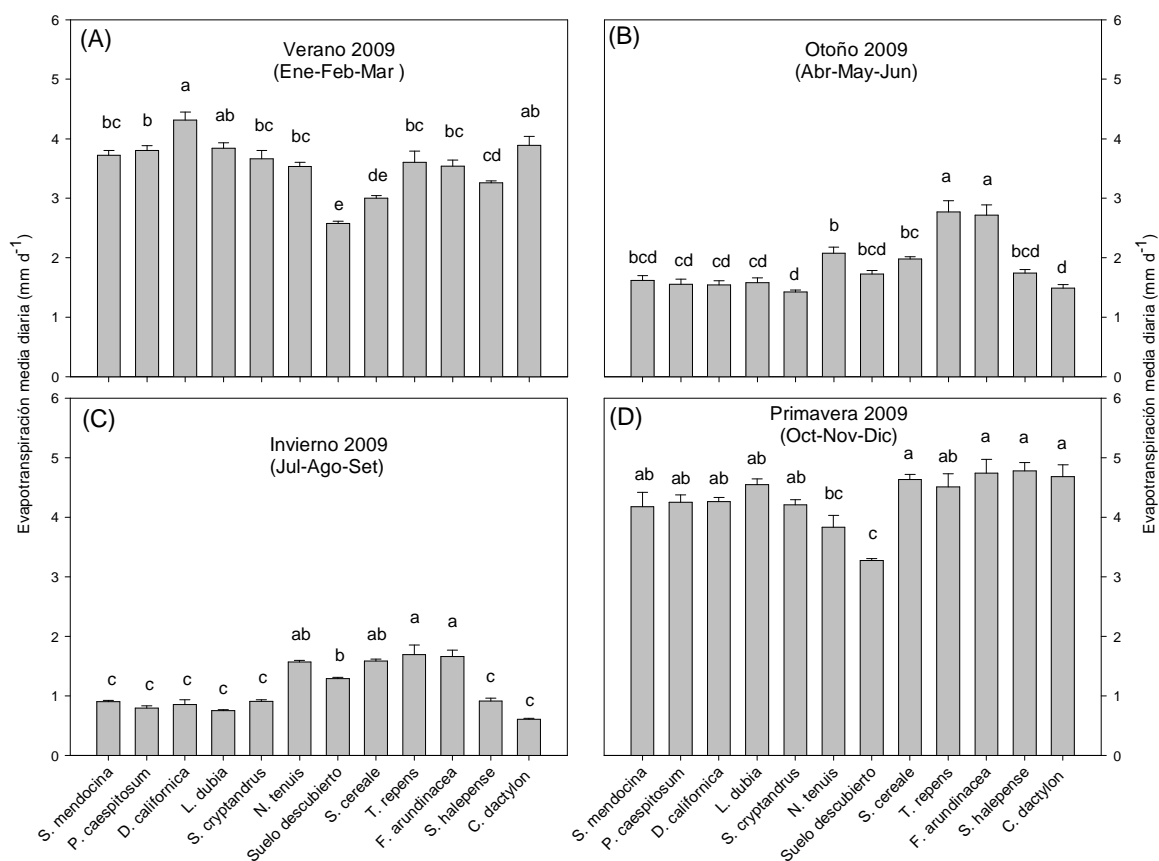


Figura 4.5. Evapotranspiración media diaria, para diferentes coberturas vegetales creciendo en macetas, en distintas épocas del año 2009. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$), mientras que las líneas verticales muestran el error estándar.

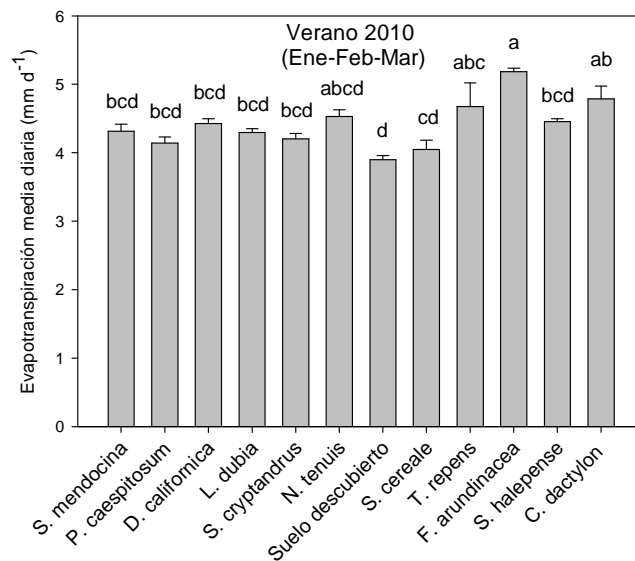


Figura 4.6. Evapotranspiración media diaria, para diferentes coberturas vegetales creciendo en macetas, en verano del año 2010. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$), mientras que las líneas verticales muestran el error estándar.

Con la información de las Figuras 4.5 y 4.6 se calculó la evapotranspiración media diaria por conjunto de especies, empleando el promedio de las especies incluidas en cada grupo. La Figura 4.7 muestra la evolución en el año para cada uno de estos grupos y en la Tabla 4.2 se presenta un análisis de contrastes ortogonales para compararlos entre sí.

Para el verano de 2009 (con restricción hídrica), el grupo de nativas C_4 tuvo un consumo significativamente mayor al resto de los tratamientos. Mientras que el de la nativa C_3 fue similar al de exóticas cultivadas perennes C_3 y malezas C_4 .

Al llegar el otoño todas redujeron su *Evt*, aunque en mayor proporción lo hicieron las nativas y malezas C_4 , sin diferenciarse estadísticamente de la evaporación del suelo descubierto. Las exóticas cultivadas perennes C_3 mantuvieron un consumo significativamente superior al resto, debido a su prolongado ciclo vegetativo durante el otoño.

Durante el invierno, como era de esperar, la *Evt* continuó descendiendo para todas las especies, pero de manera más marcada aún en las nativas y malezas C₄, siendo incluso considerablemente inferior a la evaporación del suelo descubierto.

A partir de la primavera el consumo de las especies aumentó de forma notable, destacándose las malezas C₄ y las exóticas cultivadas C₃ (perenne e invernial) con valores significativamente superiores a las nativas C₄. La de menor consumo primaveral resultó ser la nativa C₃.

En el verano de 2010 (mayor frecuencia de riego) se observaron dos comportamientos diferentes. Por un lado los grupos de nativa C₃ y cultivada perenne C₃, quienes aumentaron su *Evt* respecto de la primavera. Por otra parte, las nativas C₄ y malezas C₄, mantuvieron un consumo muy próximo al primaveral. Dentro de los grupos de especies que permanecieron activas durante el verano, las exóticas cultivadas perennes C₃ presentaron un consumo significativamente superior al resto, mientras que las nativas C₄ mostraron una *Evt* marcadamente inferior a la de las malezas C₄.

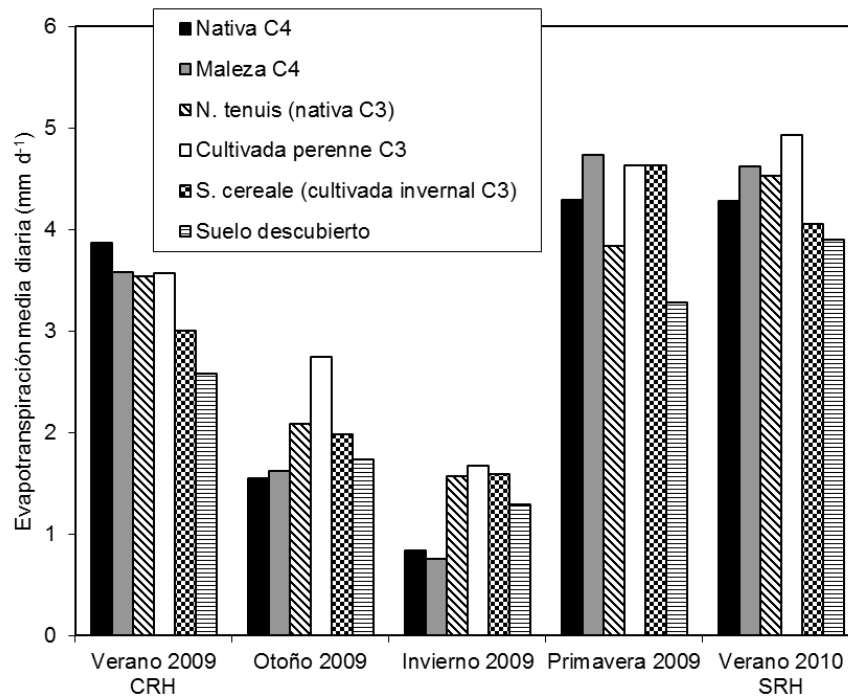


Figura 4.7. Evapotranspiración media diaria por grupo de especie y para diferentes épocas del año. Nativa C₄: SE, PA, DI, LE y SP; Maleza C₄: SO y CY; Nativa C₃: NA; Cultivada perenne C₃: SC; Cultivada invernala C₃: FE y TR. CRH: con restricción hídrica; SRH: sin restricción hídrica.

Tabla 4.2. Análisis de contrastes ortogonales para la evapotranspiración media diaria por grupo de especie y para diferentes épocas del año.

		Nivel de significancia (valor de ρ)
Verano 2009	Nativa C4 vs Resto	<0,0001 **
	Nativa C3 vs Cultivada perenne C3 + Maleza C4	0,7487 ns
Otoño 2009	Nativa C4 + Maleza C4 vs Suelo	0,1286 ns
	Cultivada perenne C3 vs Resto	<0,0001 **
Invierno 2009	Nativa y malezas C4 vs Suelo	<0,0001 **
Primavera 2009	Maleza C4 + Cult. per. e inv. C3 vs Nativa C4	0,0004 **
	Nativa C3 vs Resto de sps.	0,0003 **
Verano 2010	Cult. per. C3 vs Resto de sps. (sin invernal C3)	<0,0001 **
	Nativa C4 vs Malezas C4	0,0039 **

Referencias: ns: diferencia no significativa, **: diferencia altamente significativa ($\rho \leq 0,01$; $n=5$).

Al relacionar el comportamiento de la evapotranspiración para los diferentes grupos de especies, entre un verano con riegos frecuentes (un riego cada siete días) y otro con cierta restricción hídrica (frecuencia de riego de 12 días) se observó, para todos los tratamientos, una reducción en el consumo de agua (Figura 4.8). Se pudo apreciar que para las especies nativas del tipo C₄ esta disminución fue del 9,5%, mientras que para el resto estuvo entre el 22 y 27%, por lo que de poseer un consumo de agua relativamente bajo (verano sin restricción), en comparación con las especies activas durante el verano (cultivada perenne C₃, maleza estival C₄ y nativa C₃), pasó a ser el grupo de mayor consumo bajo condiciones de estrés. En condiciones de baja disponibilidad hídrica, los tres grupos citados anteriormente pasaron a tener un consumo casi idéntico. Un caso para analizar aparte es la cultivada C₃ (*Secale cereale*), ya que se trató de una especie inactiva durante el verano y que fue sembrada a fines del verano o a principios de otoño, por lo que su *Evt* fue baja y próxima a la evaporación del suelo descubierto (testigo) para las dos

situaciones. Por otro lado, el testigo resultó ser el tratamiento con mayor reducción en el gasto hídrico, presentando una disminución de la evaporación del 34%.

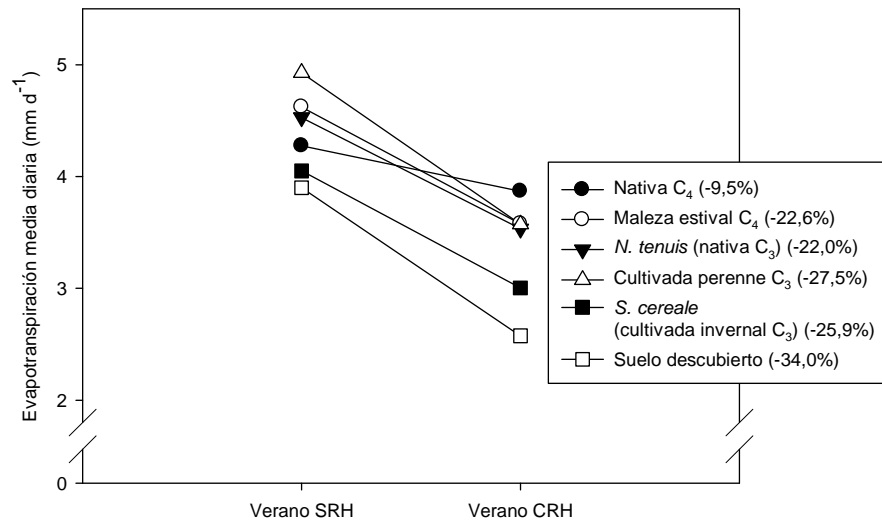


Figura 4.8. Evapotranspiración media diaria para los diferentes grupos de especies durante los meses de verano. Se compara entre un verano (ene-feb-mar 2010) sin restricción hídrica (SRH) y un verano (ene-feb-mar 2009) con restricción hídrica (CRH). Entre paréntesis se indica el porcentaje de disminución de la *Evt* para cada grupo.

Al analizar el consumo hídrico anual (Figura 4.9), se apreciaron valores que fueron desde los 868 mm (suelo descubierto) hasta los 1.212 mm (cultivada perenne C₃), se puede notar que todas las coberturas vegetales generaron un aumento respecto de la evaporación alcanzada con el suelo descubierto (valor de referencia). Las especies nativas del tipo C₄ fueron mayores en un 13%, mientras que las perennes exóticas cultivadas del tipo C₃ presentaron un aumento de hasta el 40%. El resto de las especies se mantuvo en un consumo anual de entre el 18 y 23% superior al de un suelo descubierto.

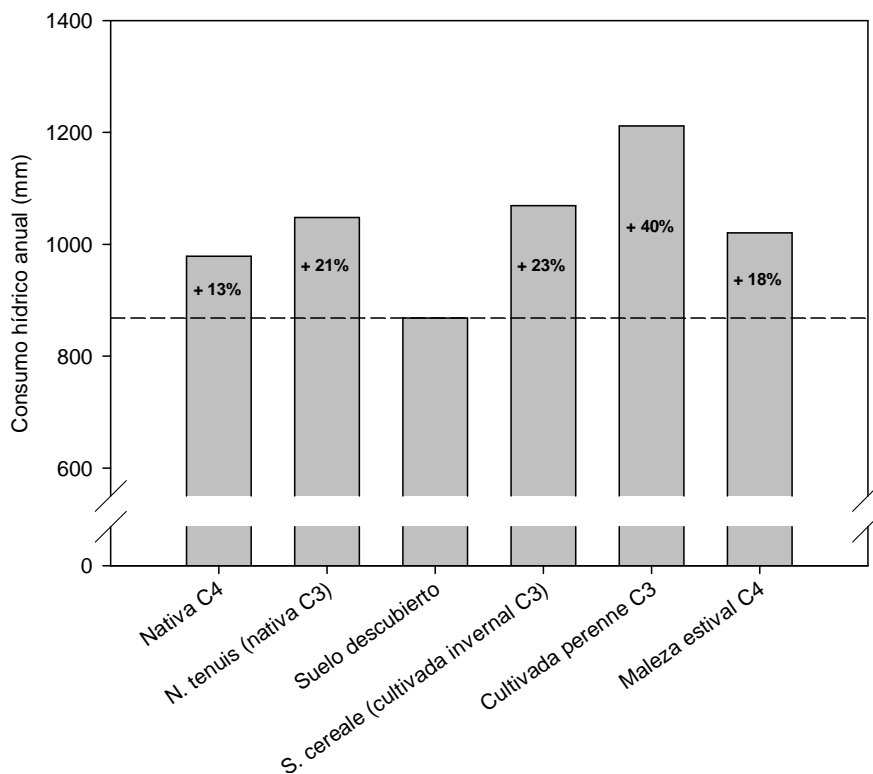


Figura 4.9. Estimación del consumo hídrico anual por grupo de especie, determinado por gravimetría en macetas durante el año 2009 y los tres primeros meses de 2010. En línea punteada se indica el valor de referencia dado por la evaporación del testigo con suelo descubierto. Los valores dentro de cada barra indican el porcentaje de aumento en el consumo, respecto del valor de referencia.

Intercambio gaseoso a nivel del sistema suelo-planta-atmósfera

Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua durante el mediodía

Evapotranspiración

Se contrastó el intercambio gaseoso y la eficiencia en el uso del agua (E_{ua}), medidas a mediodía, en días con y sin restricción hídrica (Figuras 4.10 y 4.11).

En un día primaveral con sustrato húmedo (Figura 4.10A), las tasas de evapotranspiración (E_{vt}) en todos los tratamientos fueron, como era de esperar, sensiblemente superiores a las de las mediciones con restricción de agua (Figura 4.10D). Sin restricción, si bien las mayores tasas de E_{vt} correspondieron a las especies exóticas

cultivadas tipo C₃ (TR, FE y SC), no se diferenciaron estadísticamente del resto de las especies, con la excepción de *Cynodon dactylon*, quien presentó el menor valor. Mientras que con restricción, la mayor *Evt* fue registrada por *C. dactylon*, aunque sin diferencias significativas respecto de otras especies C₄ (SO, PA, y LE) ni de *Secale cereale* (anual invernal tipo C₃). Los menores valores correspondieron a las perennes tipo C₃ (TR y FE) incluyendo la nativa (NA). Cabe destacar aquí que la maleza *C. dactylon* presentó escasa disminución en *Evt*, al pasar a condiciones de cierta restricción de humedad.

Durante un día de verano con elevado contenido de humedad en el sustrato, las especies de mayor *Evt* fueron *C. dactylon* y *F. arundinacea*, aunque las diferencias solo fueron significativas respecto de *S. cereale*, *S. mendocina* y *P. caespitosum*. Estas dos últimas especies nativas tipo C₄ presentaron valores de *Evt* similares a los de evaporación en el tratamiento de *S. cereale* (como rastrojo por finalización de su ciclo). Los tres tratamientos mencionados exhibieron tasas de *Evt* significativamente inferiores a la evaporación del suelo descubierto (SU) (Figura 4.11A). Ocho días después del riego la *Evt* se redujo notablemente en todos los tratamientos (Figura 4.11D). Bajo estas condiciones la especie con mayor tasa de *Evt* resultó ser *C. dactylon*, aunque sin mostrar diferencias respecto de las nativas (SE, PA, DI, LE, SP y NA) y de *S. halepense*. Mientras que la evaporación del rastrojo de *S. cereale* y la *Evt* de *T. repens*, no se diferenciaron del testigo con suelo descubierto.

Balance de CO₂

Respecto a las tasas de asimilación de CO₂ en primavera sin restricción hídrica, los mayores valores se registraron en *Festuca arundinacea*, seguida de *Trifolium repens* y *Nassella tenuis*. Los menores valores de asimilación, y en algunos casos con balance de emisión positivo correspondieron a *Digitaria californica* y *Sporobolus cryptandrus*, ambas nativas C₄. Las dos malezas C₄ (SO y CY) presentaron tasas de asimilación intermedias (Figura 4.10B). Mientras que en condiciones de limitación de agua la tendencia se invirtió, con las mayores tasas de asimilación en malezas y nativas C₄ y balance positivo de CO₂ en especies C₃. Siendo la excepción *S. cereale* quien mostró valores similares a los de algunas especies tipo C₄ (Figura 4.10E).

Las mayores tasas de asimilación durante un día caluroso y elevado contenido de humedad en el sustrato pertenecieron a *C. dactylon*, quien se diferenció significativamente del resto de las especies, con la excepción de la nativa *D. californica*. Las menores tasas de fijación de CO₂ correspondieron a *F. arundinacea* y *N. tenuis* (Figura 4.11B). En condiciones de restricción hídrica, las especies nativas y malezas del tipo C₄ redujeron sus tasas de asimilación, aunque manteniendo el balance de fijación de CO₂. Mientras tanto las perennes exóticas cultivadas (TR y FE) y la nativa, todas del tipo C₃, mostraron tasas de emisión de CO₂ al igual que *S. cereale* y el testigo (Figura 4.11E).

Eficiencia en uso del agua

Al calcular la *Eua* en primavera con sustrato húmedo, *F. arundinacea* se diferenció significativamente de las nativas C₄ (SE, PA y LE) y de *S. cereale* por su mayor eficiencia, pero presentando valores similares a las restantes perennes C₃ (NA y TR) y las malezas C₄ (SO y CY) (Figura 4.10C). Bajo condiciones de restricción hídrica aumentó notablemente la *Eua* de las especies C₄ y de *S. cereale*, mientras que para las perennes C₃ (FE, TR y NA) se redujo a cero, debido al balance de emisión de CO₂.

En una jornada de verano, en condición de alto contenido hídrico en el sustrato, el tratamiento de *C. dactylon* se destacó por una mayor *Eua*, aunque sin diferenciarse estadísticamente de tres de las nativas C₄ (SE, PA y DI). Las menores eficiencias correspondieron a especies C₃ (NA y FE) (Figura 4.11C). En situación de restricción hídrica, no se detectaron diferencias entre la *Eua* de nativas y malezas C₄, observándose en general que los valores se mantuvieron o bien se incrementaron levemente, mientras que para las especies C₃ se redujo hasta cero (Figura 4.11C y F).

Determinaciones con restricción hídrica severa

En el Anexo 8 se presentan los resultados de mediciones similares a las anteriores, efectuadas durante marzo y abril de 2009. En marzo, sin restricción hídrica, en general no se observaron diferencias significativas en cuanto a *Evt*, mientras que las especies C₄ se destacaron por sus mayores tasas de asimilación y eficiencia en uso del agua en comparación con las C₃. En abril, con una restricción hídrica severa, se verificó una sensible reducción de la *Evt* para todas las coberturas. *Trifolium repens* y *Sporobolus*

cryptandrus presentaron la mayor *Evt*, mientras que la mayoría de las especies mostraron balances de emisión. *S. cryptandrus* presentó la mayor tasa de asimilación aunque sin diferenciarse de *Digitaria californica*, *Nassella tenuis* y *T. repens*.

Relación entre evapotranspiración y asimilación de dióxido de carbono

En la Figura 4.12 se observa la relación entre la asimilación de CO₂ y la *Evt* para los diferentes grupos de especies estudiadas, teniendo en cuenta mediciones efectuadas durante los meses de verano durante el mediodía.

Cuando se compararon las especies nativas C₄ y la nativa C₃, se observó que para un mismo valor de *Evt* las C₄ presentaron mayores niveles de asimilación. Éstas se ajustaron a una curva lineal donde a mayor *Evt* aumentó la fijación de CO₂, con valores máximos superiores a los 2,5 g CO₂ m⁻²h⁻¹. La nativa C₃ se ajustó a un polinomio de segundo grado, donde con valores de *Evt* iguales o inferiores a 130 g H₂O m⁻²h⁻¹ la asimilación fue cercana a cero, mientras que con valores superiores de *Evt* la fijación aumentó hasta alcanzar valores máximos próximos a 1 g CO₂ m⁻²h⁻¹ (Figura 4.12A).

En la Figura 4.12B se observa que la relación entre *Evt* y asimilación fue similar para las especies tipo C₃, tanto exóticas cultivadas como nativas. A valores relativamente altos de *Evt* se insinuó una leve tendencia de aumento en la fijación de las especies nativas.

Al analizar el comportamiento de las cinco nativas C₄ se pudo notar que tres de ellas (PA, LE y SE) presentaron una relación similar, en donde al aumentar la *Evt* aumentó linealmente la tasa de asimilación de CO₂. La especie *S. cryptandrus* se comportó de manera distinta ya que, para valores elevados de *Evt*, presentó tasas de asimilación bajas en comparación con el resto. En cambio la especie *D. californica* se ajustó mejor a una curva polinómica de segundo grado, en donde para valores bajos de *Evt* sus niveles de asimilación fueron relativamente altos, con niveles medios de *Evt* su fijación fue comparativamente baja, mientras que con tasas de *Evt* elevadas la asimilación fue alta (Figura 4.12C).

En la Figura 4.12D se muestra que para nativas y malezas tipo C₄ la relación entre *Evt* y asimilación de CO₂ fue análoga.

Relación entre asimilación de dióxido de carbono y eficiencia en uso del agua

Se analizó, además, la relación entre la tasa de asimilación de CO₂ y la *Eua*, para malezas y nativas tipo C₄, bajo dos condiciones de humedad en el sustrato. No se destacaron diferencias de *Eua* entre malezas y nativas C₄, pero sí al diferenciar su estado hídrico. Se comprobó que para tasas de asimilación de entre -0,5 y -1,0 g CO₂ m⁻²h⁻¹, la *Eua* fue superior en situaciones de restricción de agua. Con sustrato seco y valores de asimilación de -1,0 g CO₂ m⁻²h⁻¹, se alcanzaron valores máximos de *Eua* cercanos a -11 g CO₂ kg⁻¹H₂O, mientras que para conseguir ese valor de eficiencia en sustrato húmedo se requirieron tasas de fijación superiores a -2,5 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Como era de esperar, en condiciones de sustrato húmedo se alcanzaron mayores niveles de fijación de CO₂ (Figura 4.13).

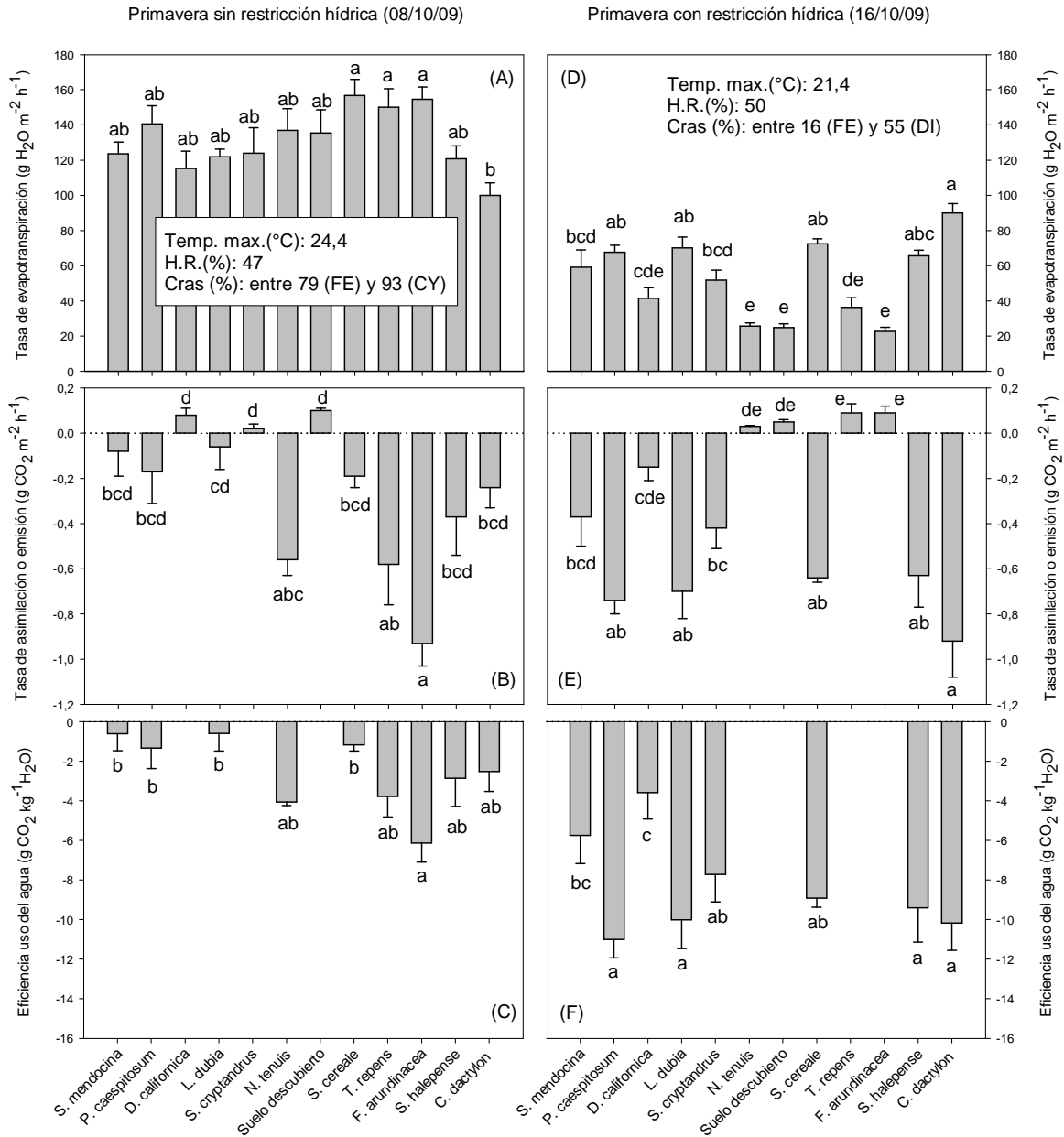


Figura 4.10. Tasas de evapotranspiración (A y D), asimilación de CO₂ (B y E) y eficiencia de uso del agua (C y F) para diferentes especies de cobertura vegetal durante el mes de octubre de 2009. Las mediciones fueron efectuadas entre las 11 y 15 hora local. Los gráficos A, B y C presentan valores obtenidos durante un período sin restricción hídrica, mientras que los gráficos D, E y F durante una etapa con limitación de agua. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=4$), mientras que las líneas verticales muestran el error estándar. Abreviaturas: Temp. max.: temperatura máxima. H.R.: humedad relativa. Cras: contenido relativo de agua en el sustrato.

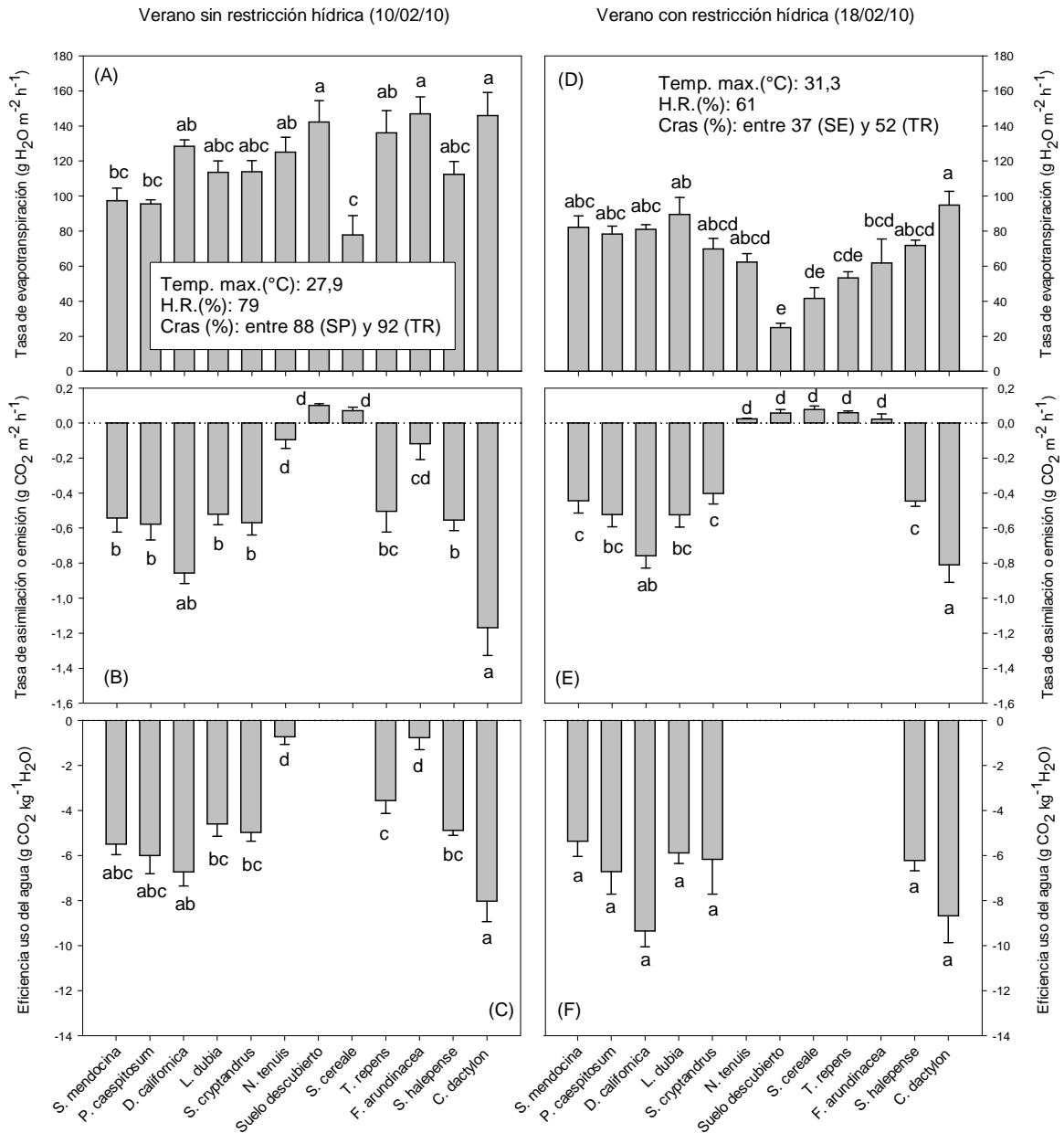


Figura 4.11. Tasas de evapotranspiración (A y D), asimilación de CO₂ (B y E) y eficiencia de uso del agua (C y F) para diferentes especies de cobertura vegetal durante el mes de febrero de 2010. Mediciones efectuadas entre las 11 y 15 hora local. Los gráficos A, B y C presentan valores obtenidos durante un período sin restricción hídrica, mientras que los gráficos D, E y F durante una etapa con limitación de agua. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $\rho \leq 0,05$; $n=4$), mientras que las líneas verticales muestran el error estándar.

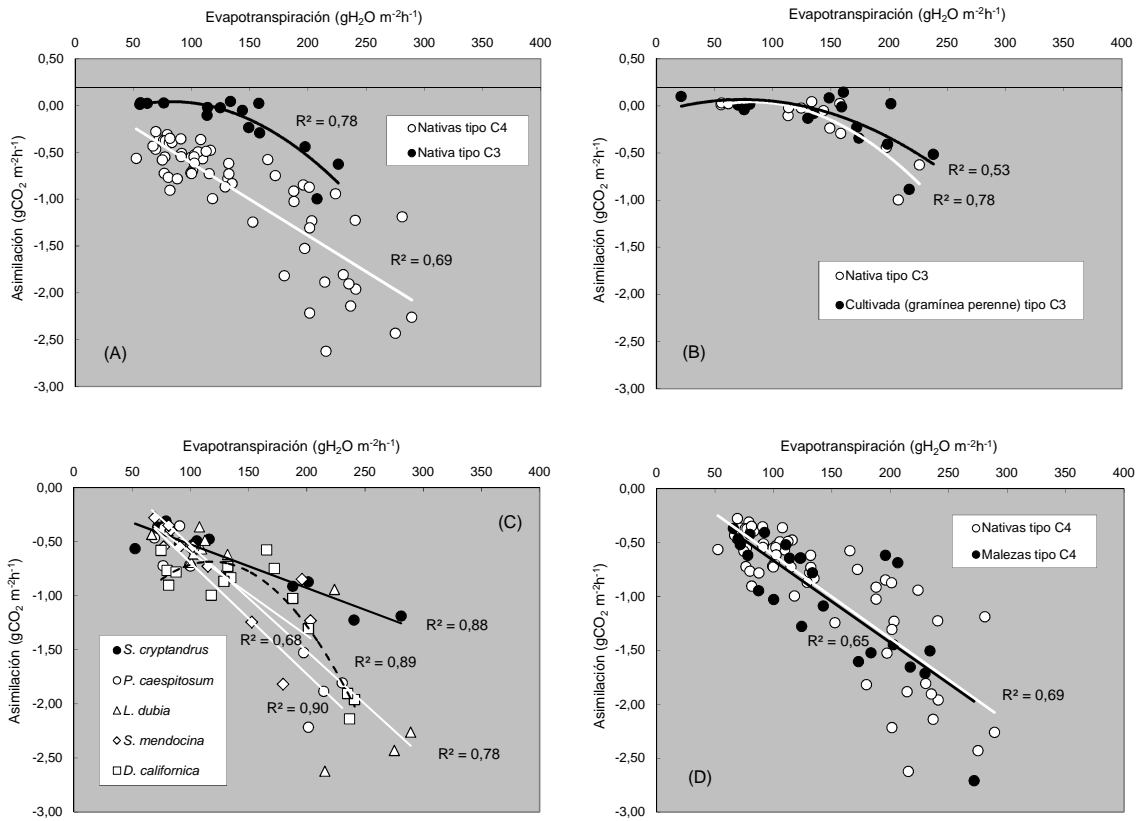


Figura 4.12. Relación entre tasas de evapotranspiración y tasas de asimilación para diferentes tipos de cobertura vegetal. En (A) se comparan nativas tipo C₄ y C₃, en (B) nativa y cultivada tipo C₃, en (C) especies nativas tipo C₄ y en (D) nativas y malezas tipo C₄. Mediciones efectuadas en febrero y marzo de 2009 y 2010, entre las 11 y 15 hora local. Para cada curva se indica el grado de relación entre las variables.

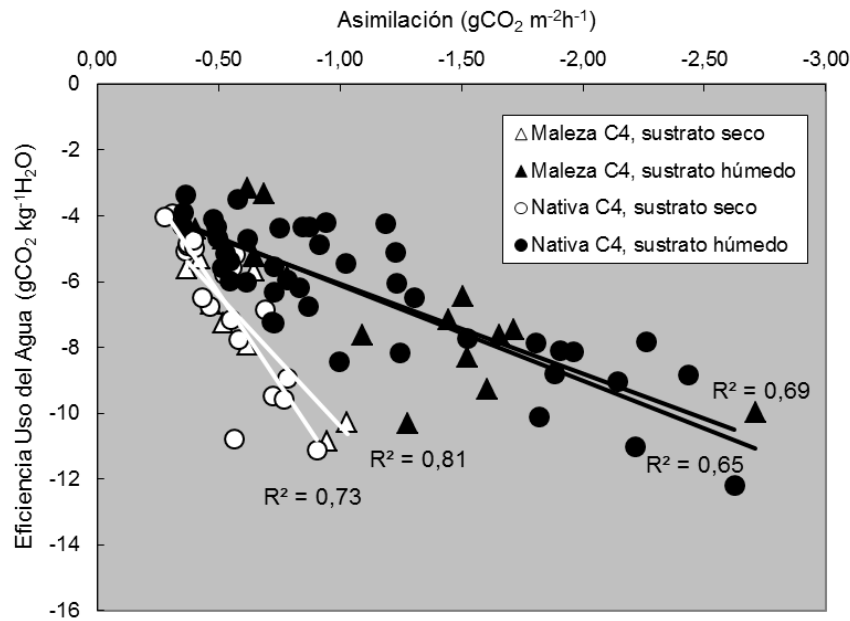


Figura 4.13. Relación entre la tasa de asimilación y la eficiencia de uso del agua en especies tipo C₄, bajo diferentes condiciones de humedad de suelo. Mediciones efectuadas en febrero y marzo de 2009 y 2010, entre las 11 y 15 hora local. Para cada curva se indica el grado de relación entre las variables.

Dinámica diaria del intercambio gaseoso

Los días 29/10/09 y 11/02/10 se midió la dinámica diaria del intercambio gaseoso, calculándose la evolución de la eficiencia en el uso del agua (*Eua*) para tres especies (FE, NA, DI) y el testigo con suelo descubierto (SU) (Figura 4.14).

Se detectaron picos de evapotranspiración (*Evt*) alrededor de las 14:30 y 15:00 h (Figura 4.14A y D). Si bien se manifestó una tendencia de las coberturas verdes a presentar mayores tasas de *Evt* respecto del suelo descubierto, solamente se registraron diferencias significativas en el seguimiento realizado en verano, en horas de la tarde (Figura 4.14D). Durante la medición de octubre, con temperaturas notablemente superiores a las habituales para esa época, se presentaron tasas de *Evt* mayores a las de la medición efectuada en febrero.

En la Figura 4.14B se muestra la evolución del balance diario de CO₂ para el día 29/10/09. No se observaron diferencias significativas de asimilación entre las especies,

pero sí una tendencia de la especie nativa C₄ (DI) a presentar mayores tasas de fijación principalmente durante la tarde. Durante la noche y antes del amanecer se observó un balance de emisión de CO₂ por parte de las especies estudiadas, con valores significativamente superiores al testigo en algunos casos. El día 11/02/10, *D. californica* presentó niveles de asimilación significativamente mayores a los de las especies C₃ (FE y NA) durante todo el día. Estas últimas especies solo presentaron balances de fijación muy leves durante la mañana. Se volvieron a detectar emisiones superiores a las del testigo, principalmente durante la noche, reduciéndose estas diferencias al aproximarse el amanecer (Figura 4.14E).

Al calcular la *Eua* se observó que para las dos fechas, los mayores valores de eficiencia se lograron durante la mañana. Durante la primavera, de las tres especies estudiadas, la nativa C₄ (DI) presentó una tendencia de mayor *Eua*, apreciada mayormente durante la tarde. Mientras que en verano la *Eua* de *D. californica* fue significativamente superior a la de las especies C₃ (Figuras 4.14C y F).

Para facilitar la comparación entre grupos de especies se efectuó un análisis de contrastes ortogonales, el cual se presenta en la Tabla 4.3.

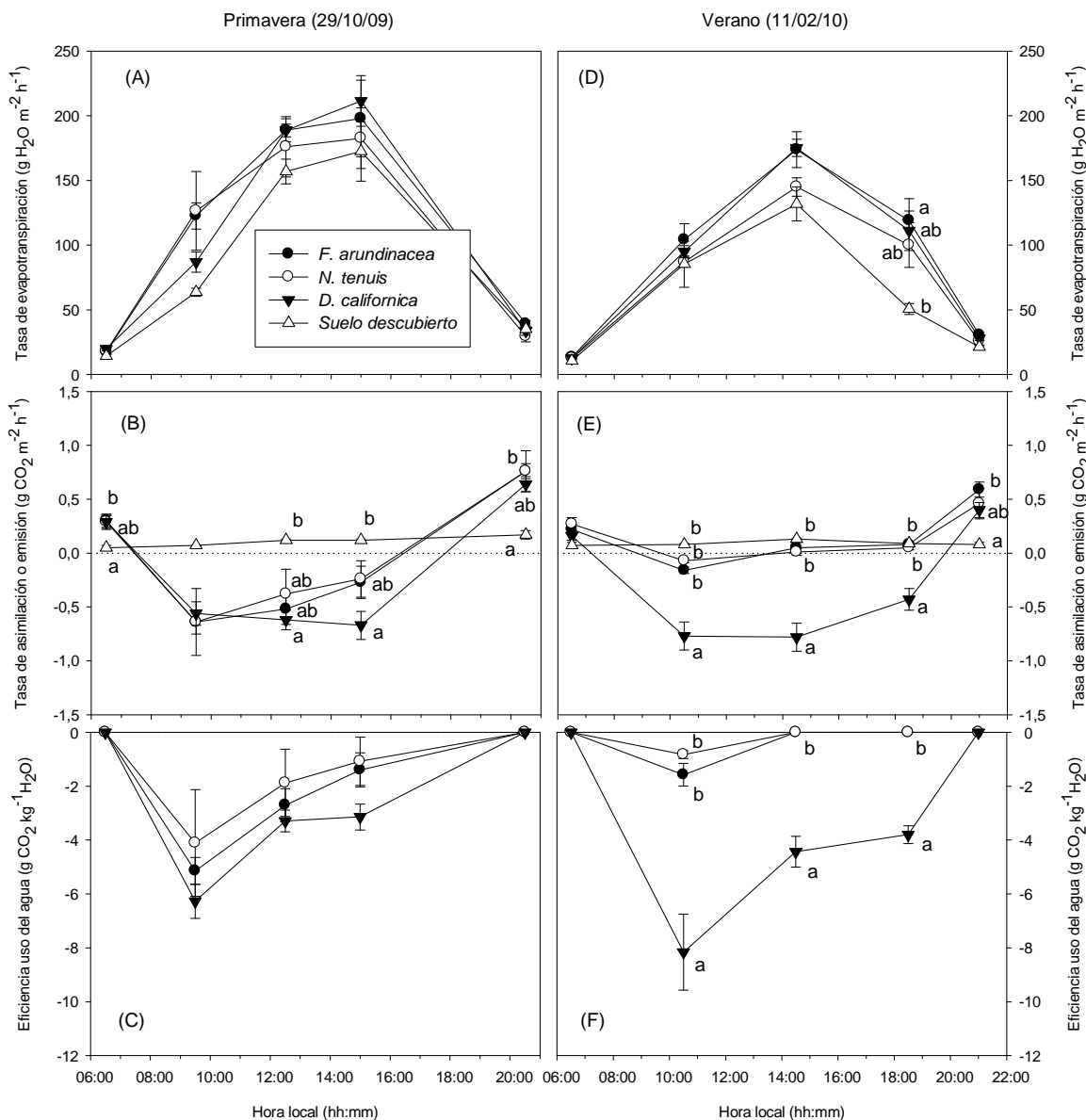


Figura 4.14. Dinámica diaria de las tasas de evapotranspiración (A y D), asimilación de CO₂ (B y E) y eficiencia de uso del agua (C y F) para diferentes especies de cobertura vegetal. Los gráficos A, B y C presentan valores obtenidos el día 29/10/09, mientras que los gráficos D, E y F muestran los observados el día 11/02/10. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=3$), mientras que las barras verticales muestran el error estándar.

Tabla 4.3. Análisis de contrastes ortogonales para la dinámica diaria del intercambio gaseoso en diferentes coberturas vegetales.

		Primavera (29/10/09)					Verano (11/02/10)				
		6:30h	9:30h	12:30h	15:00h	20:30h	6:30h	10:30h	14:30h	18:30h	21:00h
Evt	Cobertura verde vs Suelo	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	*
	Nativa vs Cultivada C3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Nativa C4 vs Nativa C3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Asimilación / emisión	Cobertura verde vs Suelo	**	*	**	**	**	*	**	**	*	**
	Nativa vs Cultivada C3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	**	ns
	Nativa C4 vs Nativa C3	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	**	**	ns
Eua	Nativa vs Cultivada C3	-	ns	ns	ns	-	-	*	**	**	-
	Nativa C4 vs Nativa C3	-	ns	ns	ns	-	-	**	**	**	-

Referencias: ns: diferencia no significativa, *: diferencia significativa ($p \leq 0,05$; $n=3$), **: diferencia altamente significativa ($p \leq 0,01$; $n=3$).

Estimación del balance diario de intercambio gaseoso

Utilizando los datos del seguimiento de la dinámica diaria del intercambio gaseoso (Figura 4.14) y efectuando interpolación para cada hora, se hizo una estimación del balance diario de *Evt* y asimilación o emisión de CO₂ (Tabla 4.4).

Durante un día extremadamente caluroso de octubre (con temperaturas máximas superiores a 35°C) y un contenido relativamente alto de humedad en el suelo (75 a 84% respecto de capacidad de campo), se estimó una evaporación de 1,77 mm d⁻¹ (en suelo descubierto) y una *Evt* que osciló entre 2,04 y 2,21 mm d⁻¹ en las coberturas verdes, representando un aumento en el consumo del 15 a 25% en comparación con un suelo sin cobertura (SU). En esta fecha todos los tratamientos exhibieron balances positivos de emisión de CO₂. El menor valor de emisión se presentó en la especie nativa C₄ (DI) y los mayores correspondieron a las especies C₃ (NA y FE).

En un día con temperaturas promedio de febrero (temperatura máxima de 28,9°C) y buena humedad en el sustrato (*Cras*: 81 a 83%), se calculó para las coberturas vegetales una *Evt* de entre 1,52 y 1,80 mm d⁻¹ (entre un 20 y 43% superior a SU). El tratamiento de *D. californica* presentó una *Evt* intermedia (1,72 mm d⁻¹), siendo la única con balance positivo de asimilación de CO₂ (más de -4 g CO₂ m⁻² d⁻¹). Las dos especies C₃ mostraron valores positivos de emisión de CO₂, siendo superiores a los de la respiración del testigo con suelo descubierto (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Estimación del balance diario de evapotranspiración y dióxido de carbono para diferentes especies de cobertura vegetal. Mediciones efectuadas cada tres o cuatro horas en el transcurso del día, los valores horarios restantes se obtuvieron mediante interpolación. Valores negativos en la tasa diaria de asimilación o emisión indican fijación de CO₂, mientras que valores positivos expresan emisión.

	Fecha: 29/10/09				Fecha: 11/02/10			
<i>Tmax</i> (°C)	35,7				28,9			
<i>Tmin</i> (°C)	28,6				25,8			
<i>Etp</i> (mm d ⁻¹)	4,4				3,2			
Tratamiento	Cras (%)	Tasa diaria de evapo-transpiración (mm d ⁻¹)	Aumento de consumo respecto de la referencia (%)	Tasa diaria asimilación o emisión (gCO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Cras (%)	Tasa diaria de evapo-transpiración (mm d ⁻¹)	Aumento de consumo respecto de la referencia (%)	Tasa diaria asimilación o emisión (gCO ₂ m ⁻² d ⁻¹)
<i>D. californica</i>	84	2,12	20	0,46	83	1,72	37	-4,07
<i>N. tenuis</i>	79	2,04	15	3,61	82	1,52	20	4,55
<i>F. arundinacea</i>	75	2,21	25	3,09	80	1,80	43	4,92
Suelo descubierto	84	1,77	referencia	2,60	81	1,26	referencia	2,06

Abreviaturas: *Tmax*: temperatura máxima, *Tmin*: temperatura mínima, *Etp*: evapotranspiración potencial (Penman-Monteith), *Cras*: contenido relativo de agua en el sustrato (% respecto de capacidad de campo).

DISCUSIÓN

Consumo hídrico de las coberturas vegetales

La incorporación de cultivos de cobertura conlleva a un mayor consumo de agua, por lo que su implementación en regiones con restricciones hídricas puede resultar inconveniente, de ahí que su manejo debe ajustarse a promover la utilización más eficiente del agua. Prichard *et al.* (1989) encontró que el consumo de agua, en cultivos de almendros con riego por aspersión del Valle Central de California (USA), fue entre un 10 y 30% mayor bajo condiciones de cobertura vegetal permanente, que cuando el cultivo fue tratado con herbicida. Mientras que en otro estudio, efectuado también en California, se determinó que el incremento de la infiltración del agua debido al uso de coberturas permanentes en un viñedo, aumentó igualmente el uso de agua en un 46% en comparación con el suelo descubierto (Gulick *et al.*, 1994). Yunusa y colaboradores (1997) calcularon la evapotranspiración total para un viñedo con riego superficial en el Sudeste de Australia, obteniendo que la *Evt* correspondiente a la cobertura verde fue del 30 a 36% del total. En un viñedo de secano con clima mediterráneo (Región de Extremadura, Portugal), se estimó que un suelo con cobertura vegetal consume hasta un 9% más de agua, en comparación con

el suelo labrado. Este último valor debe interpretarse con cuidado ya que el estudio tomó en cuenta el contenido hídrico solo hasta 1 m de profundidad, por lo que se sugiere que la proporción real sería muy superior (Monteiro y Lopes, 2007). Recientemente, una investigación realizada en una zona de mayor humedad (Nueva York, USA) calculó que entre el 27 y 31% de la E_{vt} total de un viñedo correspondió a la cobertura verde perenne (Centinari *et al.*, 2012).

En la Zona Alta del Río Mendoza, se comprobó que para un viñedo bajo riego superficial por melga mantenido con cobertura vegetal permanente, se requirió un volumen de agua entre 44 y 86% mayor (21 y 42% cuando se utilizaron especies anuales), respecto de suelo descubierto con aplicación de herbicida. Estas notables diferencias fueron atribuidas no tanto al incremento en el consumo hídrico, sino más bien a la considerable reducción del frente de avance del agua de riego en la melga, por parte de la cobertura verde y los restos vegetales, lo cual redujo la eficiencia del riego (Uliarte y del Monte, 2006). En estos casos la eficiencia puede mejorarse mediante la formación periódica de surcos superficiales de avance, a ambos lados de la melga. En el presente trabajo, se estimó un aumento del consumo hídrico anual promedio del 40%, por parte de una especie cultivada perenne C_3 , respecto del suelo descubierto, valor que se corresponde con los antecedentes citados. Con la utilización de especies anuales, estivales e invernales, el incremento fue de entre 18 y 23%, respectivamente. Mientras que mediante el uso de nativas el valor se redujo a 21% (C_3) y 13% (C_4), lo cual nos permite conjeturar que a través del manejo de coberturas herbáceas nativas, se podría reducir el consumo de agua hasta un 27%, en cultivos perennes manejados con cobertura verde permanente. Estos valores anuales, estimados por gravimetría, fueron confirmados con mediciones de intercambio gaseoso efectuadas a mediodía, allí se determinaron aumentos en el consumo hídrico diario de entre 15 y 43%, por parte de las coberturas y comparadas con el suelo descubierto.

Cabe aclarar que existe el antecedente del intento de establecer especies herbáceas nativas en viñedos bajo riego superficial (melga), el cual no prosperó debido a la gran capacidad de competencia de las malezas introducidas, quienes bajo condiciones de

elevada disponibilidad hídrica, terminaron predominando por sobre las especies nativas (Cavagnaro y Dalmaso, 1986).

En cultivos provistos con riego por goteo, resulta complicado establecer las especies introducidas comúnmente utilizadas como coberturas verdes, salvo bajo ciertas condiciones particulares tales como cuando se trabaja, por ejemplo, utilizando especies con relativa tolerancia a la sequía, en suelos de textura franca a arcillosa y reducido distanciamiento entre las hileras de vid. Es por ello que para la mayoría de los viñedos irrigados con la tecnología de riego localizado, la más difundida en la región, sería importante la utilización de especies herbáceas nativas como cultivos de cobertura. Por observaciones directas a campo, es cada vez mayor el número de viñedos en los que favorecen el establecimiento y resiembra espontánea de las especies nativas. Los resultados de la evaluación de la cubierta vegetal en el sitio interfilar, en los tres viñedos bajo seguimiento, permitió verificar que se pueden alcanzar aceptables niveles de cobertura del suelo mediante el uso de herbáceas nativas.

Mediciones de huella hídrica indican que distintas variedades de vid en Mendoza poseen un consumo hídrico similar, y que los factores de mayor incidencia en el cálculo son el nivel de producción y el sistema de riego (Conte y Fayad, 2012; Morábito, 2012). Cuando la producción de uva es alta y el riego es eficiente, la huella hídrica es menor. Las importantes diferencias encontradas en el consumo de agua, para los diferentes cultivos de cobertura y las alternativas de manejo con suelo descubierto, determinan la importancia de tener en cuenta el tipo de manejo del suelo para futuras mediciones de huella hídrica en el viñedo.

Dinámica de la evapotranspiración en el transcurso del año

Al comparar la evapotranspiración (E_{vt}) media diaria para las diferentes épocas del año, se constataron valores similares de E_{vt} para las diferentes especies en primavera y verano, teniendo en cuenta períodos sin restricción hídrica. En un verano con restricción hídrica, se registraron valores de E_{vt} inferiores a los de primavera sin estrés hídrico. La menor disponibilidad hídrica en el sustrato y el mayor estrés térmico de los típicos días de

verano, pueden haber determinado una mayor intensidad en el cierre estomático (Cox y Boersma, 1967), induciendo un menor consumo diario promedio.

Para un suelo descubierto sin restricción hídrica, hubo mayor evaporación en verano respecto de la medida en primavera. Mientras que para un verano con restricción de agua, la evaporación fue inferior a la de primavera con suelo húmedo.

Se pudo verificar que durante un verano con restricción hídrica, las especies nativas C_4 consumieron mayor o igual cantidad de agua en comparación con malezas C_4 y perennes tipo C_3 , lo cual se explicaría con la capacidad de las plantas de desierto de mantener sus estomas abiertos en condiciones de estrés hídrico (Gibson, 1998). Mientras que en el transcurso de un verano sin limitación de agua, fueron las especies perennes C_3 y malezas C_4 las que presentaron un consumo igual o superior al de las nativas (principalmente respecto de las tipo C_4).

Durante primavera sin restricción hídrica las especies nativas (C_4 y C_3) tuvieron un consumo igual o inferior al de malezas C_4 y exóticas cultivadas C_3 . En tanto que en otoño e invierno las especies C_3 (exóticas cultivadas y nativa) mostraron una E_{vt} superior a las especies C_4 , las cuales en este período se encuentran en reposo vegetativo.

Tasas de intercambio gaseoso

Las tasas de E_{vt} medidas a inicios de primavera mostraron que en una jornada sin restricción hídrica, los mayores consumos correspondieron a especies exóticas cultivadas tipo C_3 . Debido a ello, estas especies redujeron con mayor rapidez la reserva hídrica en el suelo. En condiciones de sequía, las especies C_4 (nativas y malezas) mantuvieron una E_{vt} relativamente alta respecto de las especies perennes C_3 . La especie anual invernal C_3 (centeno) mantuvo asimismo elevada E_{vt} . A diferencia de lo que ocurre con especies perennes vegetando desde hace unos años en maceta, posiblemente el sistema radical del centeno no exploró la totalidad del sustrato disponible, conservando cierto grado de humedad edáfica. Las especies perennes de actividad invernal tipo C_3 presentaron las mayores tasas de asimilación en condiciones de suelo húmedo, mientras que con

restricción de agua pasaron a registrar tasas de emisión de CO₂. Por otro lado las especies C₄ sin restricción hídrica exhibieron tasas de fijación relativamente bajas y en algunos casos balances de emisión, mientras que con cierta escasez de agua aumentaron sus valores de asimilación. Para esta época las especies de ciclo estival tipo C₄ mostraron un aumento de la asimilación en condiciones de restricción hídrica, comparado con lo registrado con humedad cercana a capacidad de campo. Esto se explicaría porque en este período se encuentran en pleno rebrote, luego de un riego aumentaron su expresión vegetativa (Dalmaso, 1994), el consumo hídrico se redujo por la restricción pero con mayor balance de asimilación por el aumento en la superficie foliar.

Durante días de verano sin restricción hídrica, las mayores tasas de *Evt* se presentaron en especies exóticas cultivadas C₃ y malezas C₄. Mientras que las tasas de asimilación fueron en general mayores para las especies tipo C₄, tanto malezas como nativas. En condiciones de sequía, las especies C₄ redujeron en menor proporción su *Evt* en comparación con las especies tipo C₃. Las tasas de fijación disminuyeron levemente para las especies tipo C₄, mientras que las C₃ presentaron tasas de emisión de CO₂. Estas observaciones corroboran la afirmación de que muchas de las adaptaciones estructurales y fisiológicas de las plantas de desierto sirven para maximizar la fotosíntesis y no tanto para limitar la pérdida de agua, como se asumía años atrás (Gibson, 1998).

Eficiencia en el uso del agua

Tanto en primavera como en verano, los mayores valores de eficiencia en el uso del agua se registraron con especies tipo C₄ (nativas o malezas), en condiciones de restricción hídrica. El aumento en la *Eua* a medida que disminuye el nivel de humedad en el suelo, ha sido observada previamente (Singh y Misra, 1985). Este aumento en la eficiencia se explicó en el ensayo debido a que en situación de estrés hídrico, la *Evt* se redujo proporcionalmente más que la fijación de CO₂.

Al comparar la relación entre la *Evt* y la asimilación durante el verano, se destacaron algunas diferencias de comportamiento entre grupos de especies. La nativa C₃ (*Nassella tenuis*) mostró menores niveles de *Evt* y asimilación en comparación las nativas

C₄. Comportamiento lógico de una especie de actividad invernal que posee dormancia estival (Kröpfl *et al.*, 2007), con un ciclo fenológico opuesto al de las gramíneas nativas C₄ (Dalmasso, 1994). Las especies nativas y exóticas cultivadas C₃ se comportaron de manera similar. Dentro de las especies nativas C₄, se pudo advertir que *Sporobolus cryptandrus* fue menos eficiente que el resto, a pesar de tener una expresión vegetativa y grado de cobertura similar al resto de las nativas. De la misma forma, Cavagnaro (1988) observó que *S. cryptandrus* estuvo entre las especies de mayor cobertura en la llanura mendocina, alcanzando niveles similares a los de *Trichloris crinita* y *Digitaria californica*, y algo inferiores a los de *Aristida mendocina* y *Pappophorum caespitosum*. Por otra parte, las especies nativas y malezas tipo C₄ manifestaron patrones similares de intercambio gaseoso.

A niveles de asimilación relativamente bajos, la *Eua* de las especies C₄ (nativas y malezas) fue mayor en suelos con restricción hídrica. Con sustrato húmedo se requirieron altas tasas de asimilación para lograr elevada eficiencia en el uso de agua.

Durante jornadas calurosas de primavera o de verano las especies nativas C₄ presentaron mayores tasas de asimilación y mayor *Eua* que las especies C₃, tanto nativas como exóticas cultivadas. Esto es debido a que las plantas C₄ evitan las pérdidas por fotorespiración (Larcher, 2003). En dichas condiciones la mayor eficiencia se observó durante las horas de la mañana, cuando la *Evt* fue relativamente menor en comparación con la tarde, y la asimilación neta fue similar. Este comportamiento se explica por las temperaturas más moderadas que se registran durante el transcurso de la mañana.

Se comprobó la mayor actividad fotosintética neta de las especies C₄ durante días calurosos, presentando un consumo hídrico similar al de especies tipo C₃, pero con mayores niveles de asimilación. Esto puede explicarse por la menor actividad de la respiración en las especies con ruta metabólica C₄ (Bull, 1969).

Durante una jornada estival, una especie nativa tipo C₄ alcanzó a asimilar hasta 4 g CO₂ m⁻² por día, en comparación con una emisión de 2 a 5 g CO₂ generada por el suelo descubierto y una especie perenne tipo C₃, respectivamente. Estas importantes diferencias en el balance de gases puede explicarse por una alta eficiencia fotosintética y baja

respiración en especies con camino metabólico tipo C₄. La mayor emisión registrada por especies tipo C₃, en comparación con el suelo descubierto, se explicaría por un aumento en la tasa de respiración y una mayor actividad microbiana propia de un suelo con cobertura vegetal. Al respecto, Frank y colaboradores (2002) atribuyeron el aumento del flujo de CO₂ en el suelo, a los mayores contenidos de carbón orgánico y carbono de biomasa microbiana, sugiriendo que el manejo del suelo juega un rol significativo en la respiración edáfica.

Las notables diferencias encontradas en el balance de carbono de las distintas coberturas verdes y su contraste respecto del manejo con suelo descubierto, revelan que resultaría apropiado tener en cuenta el tipo de gestión del suelo en el viñedo para obtener una aproximación más precisa a la huella de carbono de la uva. Aunque el protocolo internacional para el cálculo de carbono en la industria del vino considera el tipo de manejo del suelo, se reconoce allí que el potencial secuestro de carbono de los cultivos de cobertura no es del todo entendido hasta el momento y que se requiere disponer de información más precisa para su correcta interpretación (FIVS, 2008).

CONCLUSIONES

La utilización de especies herbáceas nativas como cultivos de cobertura contribuye a reducir el consumo hídrico respecto del uso de coberturas vegetales cultivadas introducidas.

En un escenario de restricción hídrica como el que se presenta en el sitio interfilar de viñas bajo riego por goteo, con mayores temperaturas estivales y menor disponibilidad de agua, tal cual se estima en diferentes modelos predictivos sobre el clima para la zona Centro-Oeste de la Argentina, las especies herbáceas nativas tipo C₄ surgen con mayor probabilidad de éxito como cultivos de cobertura, debido a su capacidad de mantener mayor actividad de evapotranspiración bajo condiciones limitantes de agua disponible.

En condiciones de alta temperatura y restricción hídrica, las especies del tipo C₄ tanto nativas como malezas, hacen un uso más eficiente del agua en comparación con las

especies C₃. La eficiencia está determinada por el grupo funcional al cual pertenecen, más que por su condición de planta nativa o exótica, por lo que se rechaza la hipótesis inicial.

En el Capítulo 3 se concluyó que al disminuir la temperatura aumenta la eficiencia en el uso del agua de las coberturas verdes, por lo que al incrementarse la temperatura por efecto del cambio climático en los próximos años sería esperable una disminución en su eficiencia hídrica. Sin embargo, los resultados del ensayo en macetas revelan que en situaciones de restricción hídrica, como las que se predicen para el futuro en Mendoza, las especies C₄ aumentan su eficiencia en el uso del agua compensando en parte el efecto de una temperatura más elevada. Por el contrario, las especies C₃ en condiciones de estrés hídrico reducen sensiblemente su eficiencia.

Dentro de las nativas C₄, *Sporobolus cryptandrus* es la menos eficiente en el uso del agua bajo condiciones de elevada evapotranspiración.

La especie nativa C₃, *Nassella tenuis* se mantiene vegetando activamente durante otoño e invierno, siendo la mejor adaptada a las zonas de mayor altitud con temperaturas comparativamente más bajas. A estos sitios más elevados se adaptaría también *Digitaria californica* (nativa C₄) quien se estableció aceptablemente en el estudio previo en una zona más fría (Capítulo 3).

POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LIXIVIADOS DE COBERTURAS VEGETALES

INTRODUCCIÓN

Las interacciones entre el cultivo principal, en este caso particular la vid, y los cultivos de cobertura pueden involucrar además de competencia por recursos, fenómenos alelopáticos que afecten el normal crecimiento de las cepas (Anaya, 1999; Inderjit y Keating, 1999).

Diversas malezas y especies utilizadas como coberturas verdes son citadas por su potencial efecto alelopático. Inderjit y Keating (1999) mencionan más de 100 malezas comunes en agro-ecosistemas con potencial actividad alelopática. Entre ellas se citan especies como *Avena fatua*, *Bidens pilosa*, *Chenopodium album*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Echinochloa crus-galli*, *Kochia scoparia*, *Lolium multiflorum*, *Portulaca oleracea*, *Salsola kali*, *Setaria spp.*, *Sorghum halepense*, *Tagetes patula* y *T. minuta*, entre otras. Entre los cultivos de cobertura indican por ejemplo a *Avena sativa*, *Brassica spp.*, *Festuca arundinacea*, *Hordeum vulgare*, *Medicago sativa*, *Secale cereale*, *Sorghum sudanense*, *Trifolium repens* y *pratense*, *Triticum aestivum* y *Vicia villosa*.

No se encuentran antecedentes sobre el potencial efecto alelopático que pudieran tener las especies herbáceas nativas seleccionadas en este estudio, pudiéndose citar sólo algunas especies emparentadas por su género. Este es el caso de *Digitaria sanguinalis*, *Leptochloa filiformis*, *Setaria faberi*, *S. glauca* y *S. viridis* (Inderjit y Keating, 1999).

Cabe destacar que el potencial alelopático de la mayoría de las especies citadas previamente ha sido comprobado en bioensayos, usando lixiviados o extractos, y no necesariamente demuestran fenómenos alelopáticos de manera concluyente (Inderjit y

Keating, 1999). Dentro de un ecosistema, los fenómenos alelopáticos coexisten con la competencia por recursos (luz, agua y nutrientes) (Inderjit y Weston, 2000) y son fuertemente influenciados por factores medioambientales de estrés en el cultivo, tales como el ataque de plagas y enfermedades, temperaturas extremas, deficiencias nutricionales, restricción hídrica, radiación solar y la acción de herbicidas (Einhellig, 1996). Estas condiciones de estrés generalmente estimulan la producción de compuestos alelopáticos. Se ha comprobado asimismo que los microorganismos del suelo influyen en la producción de sustancias alelopáticas (Inderjit, 2005).

Una gran parte de los estudios relacionados con alelopatía han sido desarrollados en ambientes controlados e intentado separar los dos mecanismos de interferencia (competencia y alelopatía), lo cual ha llevado a malinterpretar el fenómeno alelopático (Inderjit y del Moral, 1997). Diversos investigadores expresan su preocupación por la falta de previsibilidad de los bioensayos de laboratorio para explicar la interferencia aleloquímica a nivel de campo, afirmándose que es necesario resaltar la importancia de los estudios de ecología y química de los suelos tanto en el laboratorio como en el campo (Inderjit, 2001).

Como paso previo a la difusión de especies nativas promisorias como cultivos de cobertura, en función de su mayor adaptación a futuros escenarios climáticos y elevada eficiencia en el uso del agua, es conveniente verificar que su introducción en el sistema productivo no implique la liberación de sustancias inhibitorias para el crecimiento de la planta de vid.

Hipótesis

Los lixiviados del riego de determinados cultivos de cobertura y malezas poseen efectos alelopáticos sobre el crecimiento de plantas de vid e inhiben la germinación de semillas de especies sensibles.

Objetivos

- 1) Evaluar el efecto alelopático de los lixiviados de riego de diversos cultivos de cobertura sobre plantas de vid.
- 2) Determinar el efecto inhibitorio de lixiviados de cultivos de cobertura sobre la germinación de semillas de especies sensibles o indicadoras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimentación de campo

Sitio y diseño experimental

El ensayo de campo en macetas se desarrolló en el mismo sitio y con los mismos cultivos de cobertura utilizados en el estudio de intercambio gaseoso y eficiencia hídrica (Capítulo 4). Frente a cada maceta conteniendo el tratamiento con cobertura vegetal, se dispusieron plantas jóvenes de *Vitis vinifera* cv. Malbec de origen clonal (clon Cot 598), con un brote en verde de 4 a 8 hojas (4 meses de edad), adquiridas en un vivero de la zona y trasplantadas en el mes de noviembre de 2007 a macetas de características y sustrato idénticos al utilizado para las diferentes coberturas vegetales (Capítulo 4).

Las coberturas verdes fueron regadas en exceso (15 litros por maceta) utilizando agua de pozo (Tabla 4.1), con el objeto de recuperar un volumen de lixiviación de al menos seis litros, para posteriormente regar las cepas jóvenes de vid trasplantadas en las macetas. Los riegos sobre las coberturas verdes se efectuaron en forma de lluvia mediante una regadera, para obtener un lixiviado de la totalidad de la parte aérea y radical de las plantas. En la Figura 5.1 se presenta un esquema de la modalidad de trabajo establecida para el ensayo y en la Figura 5.2 una vista general del ensayo en macetas. El diseño de las unidades experimentales (macetas) fue de parcelas completamente al azar con once tratamientos con lixiviados de cultivos de cobertura (*cf.* Tablas 2.3 y 2.4), un testigo con lixiviado de suelo descubierto y cinco repeticiones por tratamiento.

Ocasionalmente se realizaron riegos uniformes con agua desmineralizada y de pozo (no proveniente del lixiviado de coberturas), con el fin de lavar las sales acumuladas en las macetas que contenían a las plantas de vid (Anexo 9).

Las plantas de vid fueron conducidas en un sistema de espaldero, recibiendo poda de formación durante el invierno. Periódicamente se efectuaron tratamientos fúngicos preventivos contra peronóspora y oidio, aplicando oxiclورو de cobre (Caurifix 84%WG) y azufre (Kumulus 80%WP). Las vides no fueron fertilizadas y durante el ensayo no presentaron síntomas de deficiencias nutricionales.

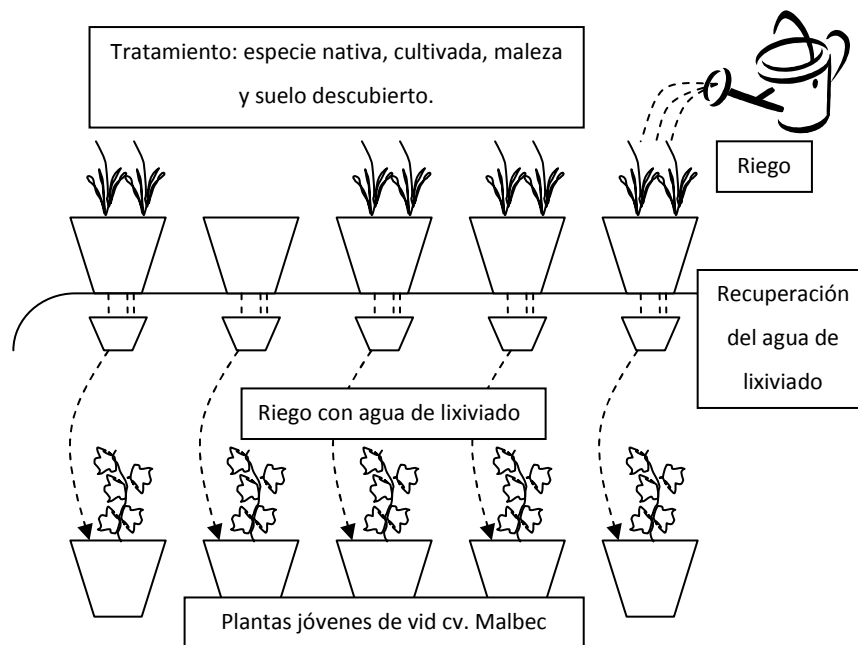


Figura 5.1. Representación esquemática de la metodología utilizada en el ensayo de campo en macetas.



Figura 5.2. Vista general del ensayo de campo en macetas, para los estudios del potencial alelopático de los lixiviados de coberturas vegetales sobre plantas jóvenes de vid.

Crecimiento de las plantas de vid

Se efectuaron evaluaciones de los siguientes parámetros de expresión vegetativa y productiva de las plantas de vid:

- Cálculo del área foliar, a través del conteo del número de hojas por planta y extracción de una muestra de cuatro hojas por cada brote principal (una hoja de la base, una del centro y una del extremo), realizado al finalizar la temporada, para determinar la superficie por hoja mediante un medidor láser de área foliar (CI-203CA, CID Inc., Camas, WA, U.S.A.).
- Cálculo del diámetro de tronco a través de la medición de su perímetro, medido a 2,5 cm desde el cuello de la planta.
- Medición de la longitud final de brote.
- Peso de uva producida por planta.

A mediados del mes de junio de 2010, las plantas de vid en macetas regadas durante tres temporadas con agua proveniente de lixiviados de las diferentes coberturas vegetales, fueron extraídas para evaluar el peso fresco de la parte aérea (sarmientos y madera vieja) y de raíces. A continuación, el material fue llevado a estufa de secado (BHR, Dalvo, Santa Fe, Argentina) a 65°C durante 24 horas, para obtener el peso de materia seca.

Al finalizar el ensayo experimental se evaluó la salinidad (conductividad eléctrica en extracto de saturación) y los niveles nutricionales (nitrógeno, fósforo y potasio totales por espectrofotometría de absorción atómica) de los sustratos pertenecientes a las macetas de las plantas de vid, para verificar si el tratamiento aplicado indujo algún cambio a nivel químico en el suelo.

Experimentación en invernadero

Complementariamente, se establecieron ensayos en invernadero para verificar el potencial alelopático de los lixiviados sobre pequeñas plantas de vid provenientes de estaca. Los estudios se repitieron en dos períodos. En el primero, iniciado en enero de 2009, se utilizaron plantas del cv. Malbec procedentes de selección masal a pie franco, mientras que en la repetición del ensayo, iniciada a fines de diciembre de 2009, se emplearon estacas de dos años del cv. Malbec (clon COT 598) a pie franco. En ambos casos las estacas fueron trasplantadas a macetas de 750 cm³ de capacidad con un sustrato compuesto de 70% orujo y 30% turba rubia.

Las macetas fueron dispuestas en un diseño experimental completamente aleatorizado, con los doce tratamientos y cinco repeticiones. Las plantas mantenidas en el invernadero fueron regadas con el agua recuperada del lixiviado de los diferentes tratamientos con cobertura vegetal (Figura 5.3), con una frecuencia de tres riegos semanales de 250 cm³ por maceta. En una sola oportunidad fue necesario efectuar un lavado con agua de riego, debido a un problema de salinidad probablemente inducido por la fertilización efectuada en los cultivos de cobertura.

Si bien no se determinó el nivel nutricional de las plantas de vid, no se observaron síntomas visuales que sugirieran deficiencia de nutrientes durante las experiencias.

La utilización de estacas de vid, creciendo activamente dentro de un invernáculo, en macetas más pequeñas con una elevada proporción de raíces y una mayor frecuencia de riego, intentó favorecer la manifestación del potencial efecto inhibitor de los lixiviados sobre plantas aparentemente más sensibles.

A fines del mes de julio de 2009 y fines del mes de abril de 2010, respectivamente, se determinó el peso fresco de brotes y raíces. Luego el material fue llevado a estufa de secado (BHR, Dalvo, Santa Fe, Argentina) a 65°C durante 24 horas para obtener el peso de materia seca.



Figura 5.3. Experimentación en invernadero sobre el potencial alelopático de lixiviados de coberturas vegetales en el crecimiento de estacas de vid.

Pruebas de germinación (bioensayos)

Se realizaron pruebas biológicas de germinación de semillas para verificar la acción de potenciales aleloquímicos presentes en los lixiviados de las coberturas vegetales.

Sobre una especie sensible: *Lactuca sativa*

En una primera instancia, se dispusieron 25 semillas de *Lactuca sativa* cv. Rapidimor clara (poder germinativo: 92%) por cada caja de Petri (9 cm de diámetro). El papel de filtro ubicado en las cajas fue humedecido con 5 ml del lixiviado proveniente de las diferentes coberturas vegetales. Cinco repeticiones por tratamiento se ubicaron completamente al azar en una cámara germinadora tipo Jacobsen (GBM10, Dalvo, Santa

Fe, Argentina) (Figura 5.4) a 25°C y en oscuridad por cinco días, determinándose porcentaje de germinación, longitud de hipocótilo y radícula.

Al no detectar efectos destacables trabajando con la dilución propia del lixiviado de un riego habitual de las macetas, se decidió efectuar su concentración y comprobar su efecto en la germinación de *L. sativa*. Previamente se efectuó un bioensayo exploratorio, utilizando una muestra compuesta por las distintas repeticiones de cada lixiviado (Anexo 12), con el objetivo de seleccionar las especies más representativas. En esta instancia se seleccionaron los tratamientos de *Sporobolus cryptandrus*, *Nassella tenuis*, *Sorghum halepense* y suelo descubierto, utilizando como testigo al agua destilada. Los lixiviados fueron llevados a tres niveles de concentración (2,5:1, 5:1 y 10:1) obtenidos mediante el uso de un rotovapor (Büchi Waterbath B-480, Flawil, Suiza), previa extracción de las potenciales sustancias alelopáticas con éter etílico y acetato de etilo. Estos concentrados se utilizaron para realizar pruebas de germinación con la misma metodología citada previamente.

Sobre otras especies

Se concretaron pruebas de germinación utilizando semillas de dos especies comúnmente cultivadas como coberturas verdes, regadas con agua de lixiviado proveniente de todas las especies estudiadas, para verificar si podían inhibir la emergencia de otros cultivos de cobertura. Se situaron 25 semillas de vicia (*Vicia sativa*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) en macetas de 750 cm³ conteniendo tierra de embanque (franco-arenosa) con cuatro y cinco repeticiones por tratamiento respectivamente. Se mantuvieron bajo invernáculo durante siete días con un riego total de 500 ml con agua de lixiviado de coberturas. Se determinó porcentaje de germinación, longitud de hipocótilo y radícula.



Figura 5.4. Test biológicos de germinación de semillas, humedecidas con el lixiviado de diferentes coberturas verdes, en cámara germinadora tipo Jacobsen.

Análisis estadístico de los resultados

Los resultados obtenidos se presentan en cuadros y gráficos, para el análisis estadístico de los mismos se realizaron análisis de varianzas mediante el software Infostat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron comparadas empleando la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Se determinaron los errores estándares para las medias de los tratamientos, los cuales aparecen en figuras y tablas.

Contenido de sustancias alelopáticas en los lixiviados

Se enviaron muestras de los lixiviados al Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de San Juan para efectuar una aproximación química básica.

RESULTADOS

Experimentación de campo

Los efectos de los lixiviados obtenidos de los distintos tratamientos sobre la longitud final de brotes y la producción no fueron significativos para ninguno de los parámetros estudiados, presentándose elevada variabilidad entre plantas a pesar de tratarse de un clon del cv. Malbec (Figura 5.5A y B, Anexo 10). Sin embargo cabe señalar algunas tendencias observadas en la temporada 2009/10, el tratamiento testigo (SU) mostró el mayor promedio de producción con baja longitud de brotes, mientras que con los lixiviados de la leguminosa (TR), se presentó la mayor longitud de brotes y la menor producción. Los tratamientos de *S. cryptandrus* y *F. arundinacea* exhibieron tendencia a inducir brotes cortos y baja producción.

Luego de tres temporadas (junio de 2010) se evaluó la producción de materia seca de madera y raíces. Estos parámetros tampoco manifestaron diferencias estadísticas significativas. De las once diferentes especies estudiadas, solo tres (SP, SE y TR) presentaron pesos de materia seca de raíces inferiores al testigo (SU) y solo una (SP) mostró menor peso de materia seca de madera (Figura 5.6).

En la Tabla 5.1 se presenta el análisis de salinidad y macronutrientes en los sustratos que contenían plantas de vid, regadas por tres temporadas con el lixiviado de distintas especies vegetales. No se manifestaron diferencias significativas en cuanto a conductividad eléctrica ni en los contenidos de potasio en el sustrato, pero sí en los de nitrógeno y fósforo.

Todos los tratamientos regados con lixiviados de cobertura vegetal presentaron en su sustrato, niveles de nitrógeno iguales o superiores a los del suelo descubierto. Los tratamientos de *L. dubia* (LE) y *T. repens* (TR) exhibieron los tenores más elevados diferenciándose estadísticamente del testigo (SU). Sin diferenciarse significativamente, el tratamiento FE, mostró el menor contenido de N en el sustrato.

También se detectaron diferencias significativas en fósforo, el tratamiento con leguminosa (TR) se diferenció del testigo y del resto de las especies por su mayor contenido de fósforo. Tres de las especies nativas (SE, LE y SP) y *F. arundinacea* no se diferenciaron del suelo descubierto, mientras que el resto de los tratamientos mostraron valores de fósforo significativamente menores. El menor contenido de este nutriente correspondió a *S. cereale*.

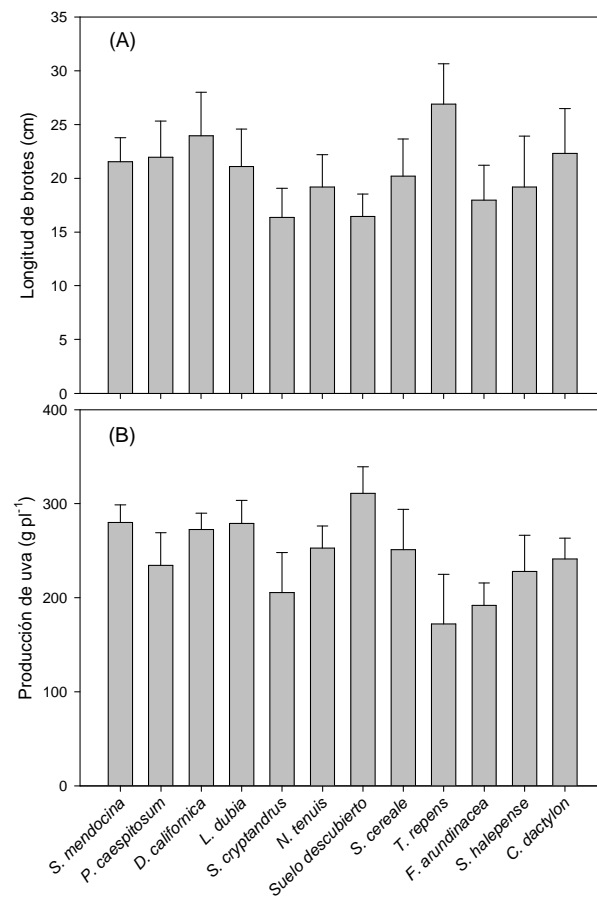


Figura 5.5. Longitud final de brote (A) y producción de uva (B) en plantas jóvenes de vid creciendo en macetas y regadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales. Temporada 2009/10. No se presentaron diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales indican el error estándar.

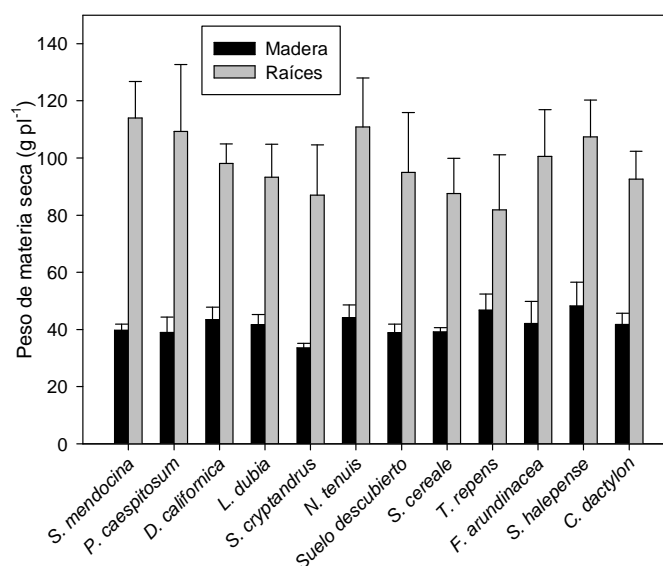


Figura 5.6. Producción de materia seca, discriminada en madera; vieja y del año (barras negras) y raíces (barras grises), de plantas jóvenes de vid creciendo en macetas y regadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales por tres temporadas. Junio de 2010. No se presentaron diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $\rho \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales indican el error estándar.

Tabla 5.1. Análisis final de conductividad eléctrica y macronutrientes en sustratos provenientes de plantas jóvenes de vid, creciendo en macetas y regadas por tres temporadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales. Mayo de 2010. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $\rho \leq 0,05$; $n=5$), mientras que entre paréntesis se muestra el error estándar.

Tratamiento	CEs (dS m^{-1})	N (%)	P (%)	K (%)
<i>S. mendocina</i>	2,59 (0,32)	0,110 (0,010) bc	0,110 (0,004) b	0,246 (0,02)
<i>P. caespitosum</i>	2,89 (0,10)	0,135 (0,004) abc	0,086 (0,003) de	0,240 (0,03)
<i>D. californica</i>	2,93 (0,28)	0,106 (0,010) c	0,090 (0,010) cde	0,247 (0,02)
<i>L. dubia</i>	3,04 (0,25)	0,188 (0,010) a	0,094 (0,003) bcd	0,238 (0,03)
<i>S. cryptandrus</i>	3,02 (0,34)	0,129 (0,020) bc	0,094 (0,003) bcd	0,275 (0,03)
<i>N. tenuis</i>	2,87 (0,20)	0,141 (0,020) abc	0,081 (0,004) de	0,254 (0,03)
Suelo descubierto	2,89 (0,27)	0,121 (0,004) bc	0,113 (0,003) b	0,307 (0,02)
<i>S. cereale</i>	2,76 (0,15)	0,115 (0,010) bc	0,071 (0,003) e	0,267 (0,02)
<i>T. repens</i>	3,40 (0,21)	0,161 (0,020) ab	0,136 (0,004) a	0,254 (0,03)
<i>F. arundinacea</i>	3,28 (0,38)	0,101 (0,010) c	0,106 (0,010) bc	0,270 (0,03)
<i>S. halepense</i>	3,29 (0,24)	0,122 (0,010) bc	0,076 (0,010) de	0,245 (0,02)
<i>C. dactylon</i>	2,75 (0,20)	0,111 (0,010) bc	0,082 (0,005) de	0,225 (0,02)

Experimentación en invernadero

Como no se detectó efecto alelopático evidente de los lixiviados de las especies ensayadas, en plantas de vid creciendo en macetas (30 l) a campo, se decidió efectuar ensayos complementarios en invernadero, con macetas más pequeñas (750 cm³) y estacas de vid. El ensayo se repitió en 2009 (Anexo 11) y 2010 obteniendo resultados similares. En la Figura 5.7 se presentan los resultados de la temporada 2010, donde al evaluar el área foliar total por planta y el peso de materia seca de brotes y raíces, no se manifestaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Nuevamente se presentó alta variabilidad entre plantas. Se puede destacar la tendencia del tratamiento con leguminosa (TR) a presentar una mayor área foliar y de *S. cryptandrus* a reducir el peso seco de brotes e incrementar el peso seco de raíces. La tendencia en el testigo fue de valores medios respecto del área foliar y el peso seco de brotes, y valores por debajo del promedio en cuanto a peso seco de raíces (Figura 5.7).

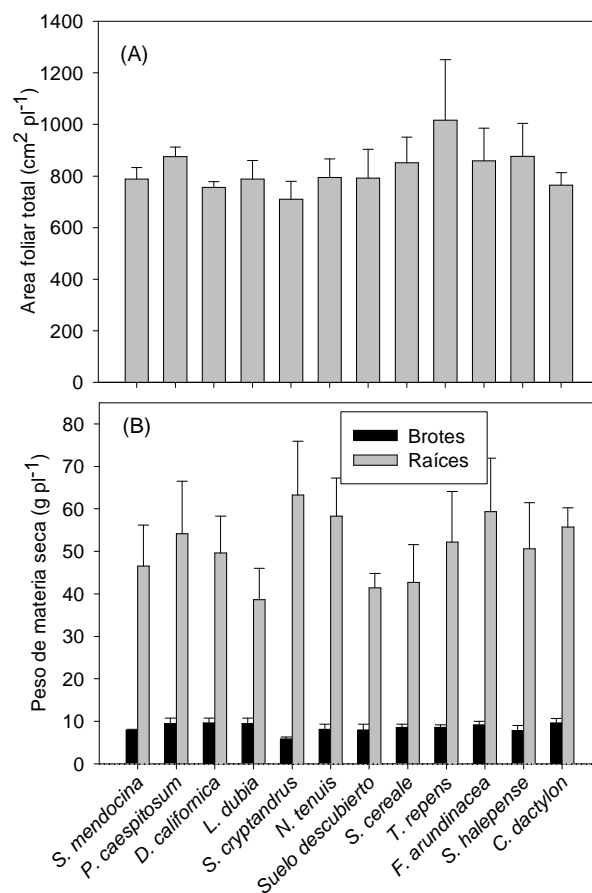


Figura 5.7. Área foliar (A) y producción de materia seca (B), discriminada en brotes (barras negras) y raíces (barras grises), de estacas de vid creciendo en pequeñas macetas bajo invernadero y regadas con el lixiviado de diferentes coberturas vegetales. Abril de 2010. No se presentaron diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales indican el error estándar.

Pruebas de germinación (bioensayos)

En la Figura 5.8A se observa que ninguno de los lixiviados inhibió la germinación de *L. sativa*. Al evaluar la longitud de las plántulas se verificó que todos los tratamientos presentaron mayor longitud de hipocótilo respecto del testigo con agua destilada, pero no se diferenciaron del lixiviado de suelo descubierto. Los valores de *S. cryptandrus* fueron significativamente menores a los de *N. tenuis* y *S. halepense*. El tratamiento de *D. californica* exhibió mayor longitud de radícula y el de *S. cryptandrus* mostró una longitud menor, ambos comparados con los testigos (SU y agua destilada). El resto de las especies

ensayadas no se diferenciaron de los testigos, respecto de la longitud de radícula (Figura 5.8B).

En la Figura 5.9 se presentan bioensayos de germinación adicionales efectuados durante la temporada 2009, donde no se detectaron diferencias significativas para germinación, longitudes de hipocótilo ni radícula.

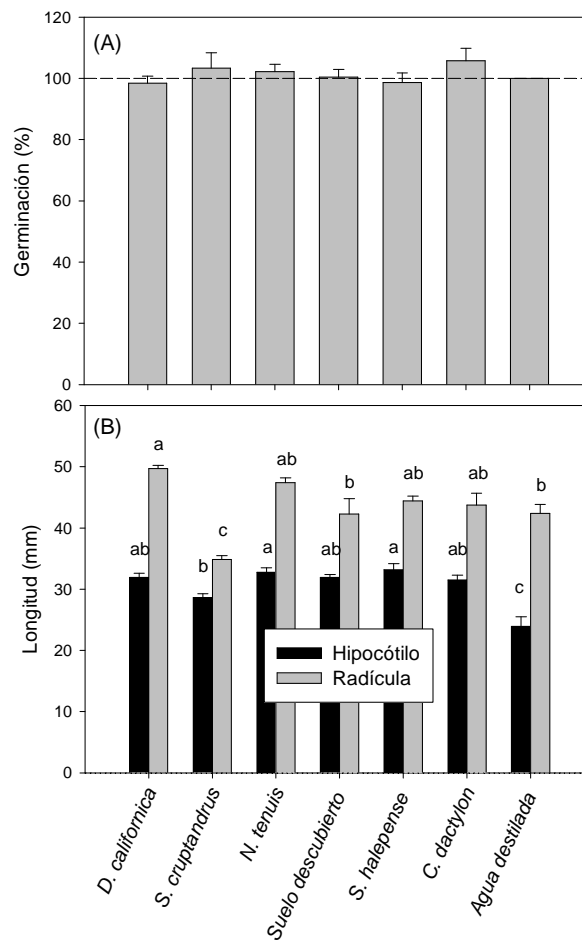


Figura 5.8. Efecto del lixiviado de diferentes coberturas vegetales en la germinación (A), expresada en % respecto de agua destilada, y en la longitud de plántula (B), discriminada en hipocótilo y radícula, de *Lactuca sativa* cv. Rapidimor clara. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos cinco días después del tratamiento. Marzo de 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

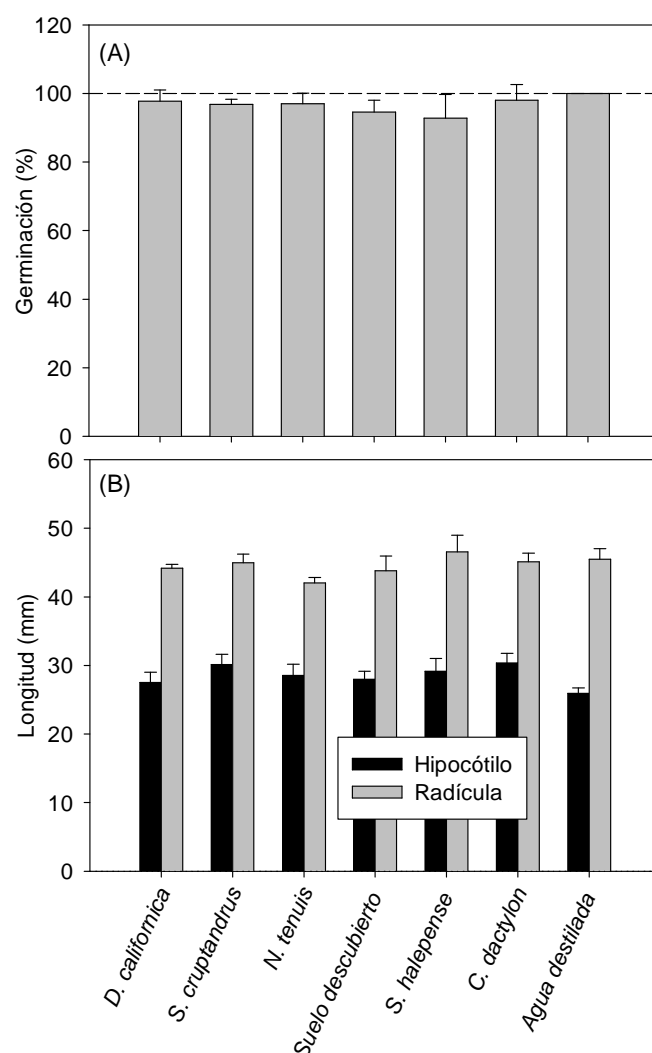


Figura 5.9. Potencial alelopático de lixiviados de coberturas vegetales en la germinación de semillas (*Lactuca sativa* cv. Rapidimor clara) sensibles a los aleloquímicos. Germinación (A) y longitud de plántula (B), discriminada en hipocótilo y radícula. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos cinco días después del tratamiento. Mayo de 2009. Sin diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $\rho \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

En la Figura 5.10A se observa que no hubo un efecto de los lixiviados sobre la germinación de *Vicia sativa* en recipientes con sustrato sólido. Tampoco se observó efecto significativo para la mayoría de los lixiviados, respecto de la longitud de plántula, detectándose una reducción en la longitud de radícula solo para *P. caespitosum*, en comparación con el testigo (SU) y tres de las especies (TR, FE y SO) (Figura 5.10B). Respecto del efecto sobre la germinación de semillas de *T. repens*, no se verificó inhibición en la germinación (Figura 5.11A), ni de longitud de hipocótilo y radícula (Figura 5.11B).

No se detectaron diferencias significativas en la germinación para ninguna de las concentraciones estudiadas (2,5:1, 5:1 y 10:1) ni con el testigo (Figura 5.12A, B y C), aunque con la mayor concentración comienza a insinuarse una tendencia de disminución de la germinación respecto del testigo con agua destilada, pero no respecto del suelo descubierto (Figura 5.12C).

En la Figura 5.13 se analiza el efecto de los concentrados en la longitud de hipocotilo y radícula. Para la concentración 2,5:1 no se apreciaron diferencias entre las especies evaluadas y el suelo descubierto, pero sí una reducción de radícula con relación al agua destilada (Figura 5.13A). En el concentrado 5:1, el tratamiento con lixiviados de *S. halepense* presentó la misma longitud de radícula que el agua destilada y significativamente mayor a la de suelo descubierto y *N. tenuis* (Figura 5.13B). Con la concentración 10:1, la longitud de hipocótilo del tratamiento *S. halepense* fue igual al agua destilada y superior al resto de los tratamientos, mientras que la radícula con lixiviados de *S. cryptandrus* resultó significativamente menor a la de agua destilada (Figura 5.13C). No se manifestó un efecto inhibitorio de los lixiviados concentrados, cuando se los comparó con el lixiviado del suelo descubierto.

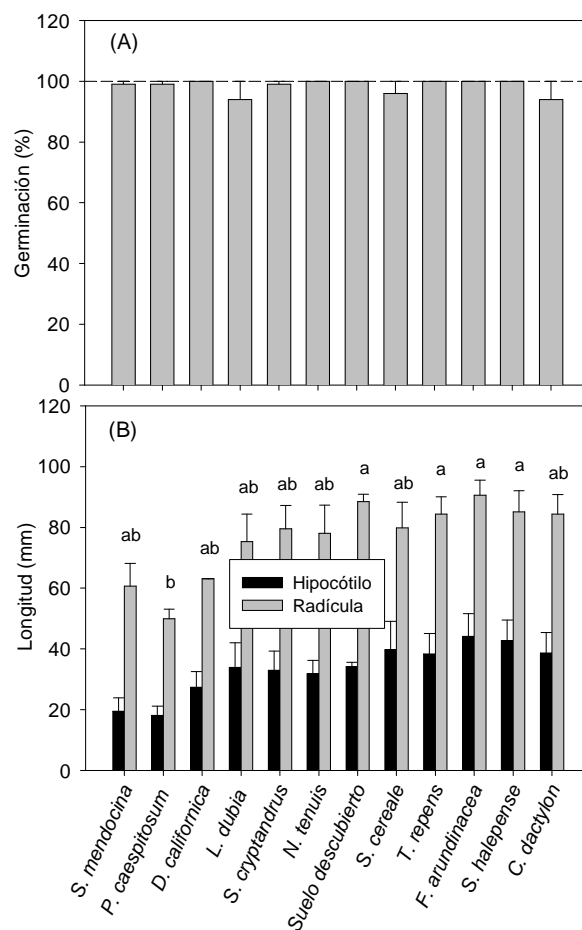


Figura 5.10. Efecto del lixiviado de diferentes coberturas vegetales en la germinación (A) y en la longitud de plántula (B), discriminada en hipocótilo (barras negras) y radícula (barras grises), de *Vicia sativa*. Ensayo efectuado en macetas con sustrato. Valores obtenidos siete días después del tratamiento. Octubre de 2009. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=4$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

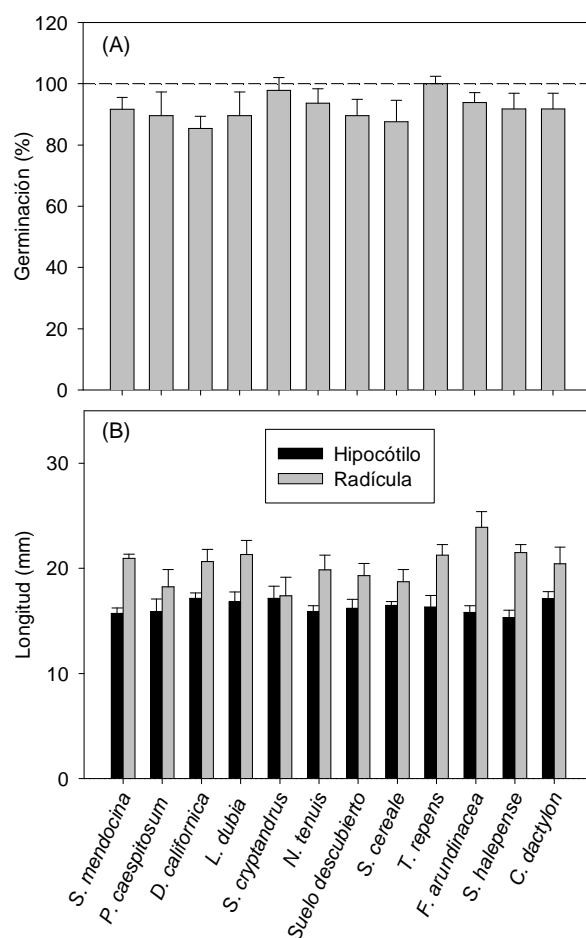


Figura 5.11. Efecto del lixiviado de diferentes coberturas vegetales en la germinación (A) y en la longitud de plántula (B), discriminada en hipocótilo (barras negras) y radícula (barras grises), de *Trifolium repens*. Ensayo efectuado en macetas con sustrato. Valores obtenidos siete días después del tratamiento. Octubre de 2009. Sin diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

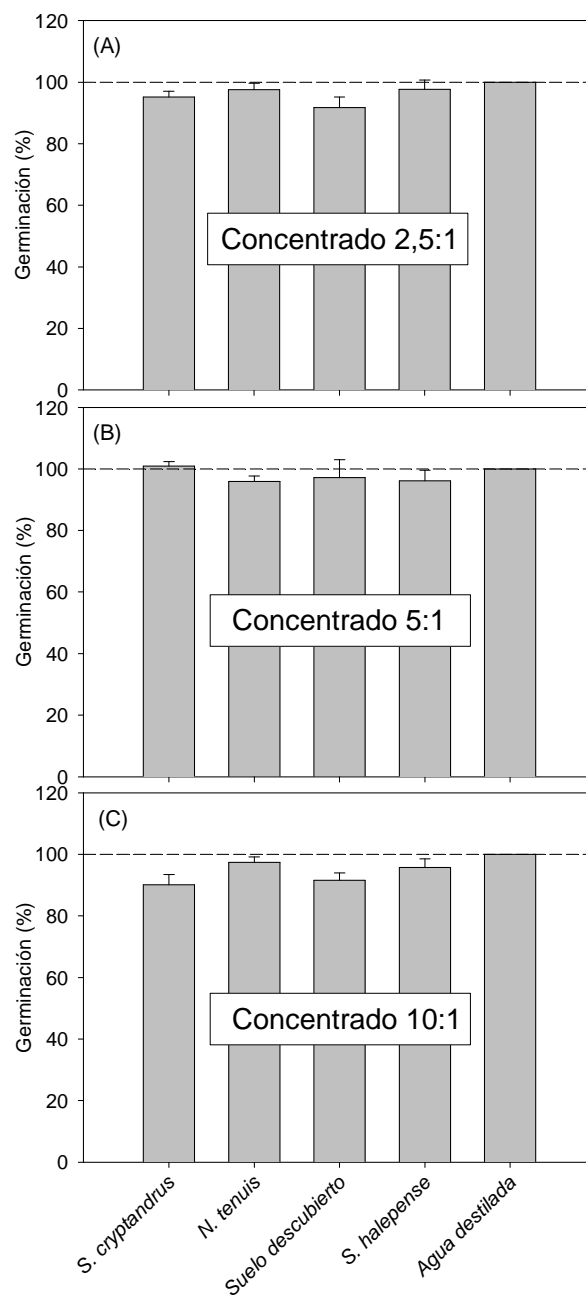


Figura 5.12. Efecto del lixiviado concentrado de diferentes coberturas vegetales en la germinación de *Lactuca sativa* cv. Rapidimor clara. (A) Concentrado 2,5:1, (B) concentrado 5:1 y (C) concentrado 10:1. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos cinco días después del tratamiento. Entre mayo y junio de 2009. Sin diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

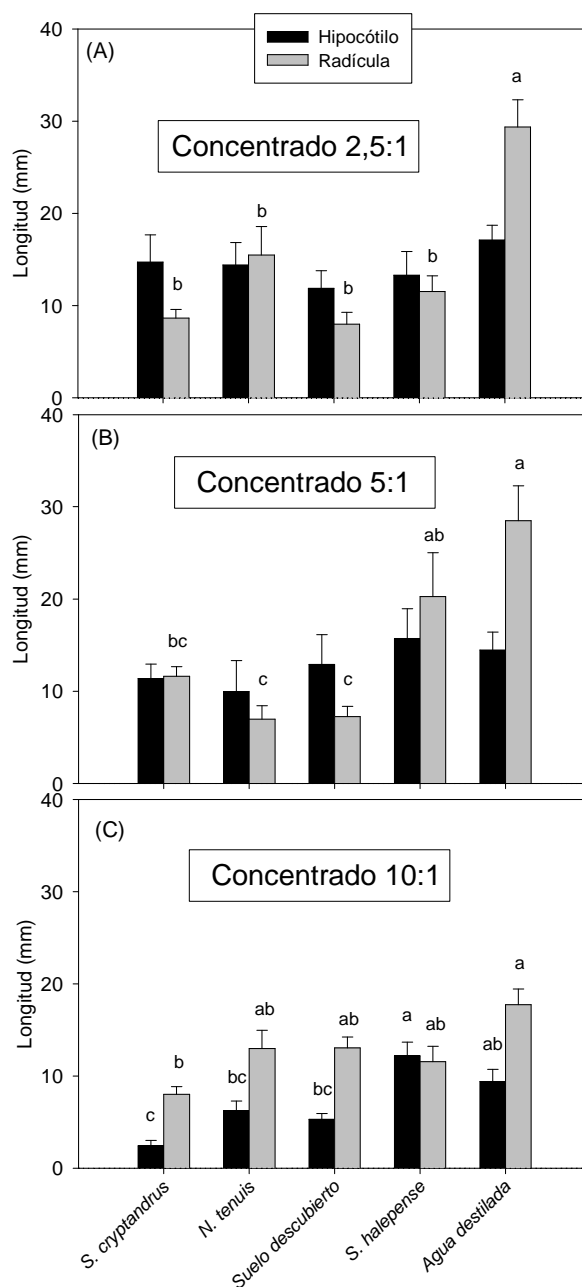


Figura 5.13. Efecto del lixiviado concentrado de diferentes coberturas vegetales en la longitud de plántula, discriminada en hipocótilo y radícula, de semillas de *Lactuca sativa* cv. Rapidimor clara. (A) Concentrado 2,5:1, (B) concentrado 5:1 y (C) concentrado 10:1. Ensayo efectuado en cámara de germinación. Valores obtenidos cinco días después del tratamiento. Entre mayo y junio de 2009. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $\rho \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales muestran el error estándar.

Contenido de sustancias alelopáticas en los lixiviados

Los análisis efectuados no evidenciaron la presencia de ninguna sustancia hidrosoluble con actividad alelopática, posiblemente debido a que se trata de un lixiviado de riego de elevada dilución o por efecto de la elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) del sustrato utilizado. El sustrato de los cultivos de cobertura tuvo una CIC de 34,2 meq%g⁻¹, en comparación con valores de 10,5 meq%g⁻¹ típicos de un suelo franco de la zona.

La información reunida en los diferentes ensayos no determinó ningún efecto alelopático evidente, que justificase profundizar los estudios sobre alguna especie en particular o bien la búsqueda de un compuesto aleloquímico específico en los lixiviados.

DISCUSIÓN

No se detectó un efecto de los lixiviados sobre el crecimiento vegetativo ni la producción de uva en plantas jóvenes de vid. Sin embargo, hubo una tendencia a mayor producción y menor expresión vegetativa en el tratamiento de lixiviado de suelo descubierto, mientras que con una especie leguminosa (*Trifolium repens*) fue a la inversa: indujo mayor crecimiento vegetativo y menor producción. Esto puede explicarse por la fijación biológica de nitrógeno y la posterior lixiviación del mismo hacia las macetas de vid, lo cual fue comprobado en el análisis del sustrato (Paynel *et al.*, 2001). Mientras que el aumento de nitrógeno registrado en el tratamiento con una nativa C₄ (*Leptochloa dubia*) puede atribuirse a un menor requerimiento nutricional de la especie. En las especies *Festuca arundinacea* y *Sporobolus cryptandrus* se puede señalar una tendencia a menor expresión vegetativa de la planta y producción de uvas, que puede estar relacionado con un mayor requerimiento de nutrientes, empobrecimiento del sustrato y menor concentración en el lixiviado y por ende hacia las plantas de vid. *F. arundinacea* es una especie conocida por su agresividad, y utilizada para reducir el exceso de vigor en la vid (Ingels *et al.*, 1998). En un estudio sobre la interacción de campo entre una cobertura de *F. arundinacea* y las plantas de vid, se comprobó una disminución en el vigor de estas últimas, explicándose en parte por la competencia por agua y sugiriendo la intervención de otros

mecanismos; como por ejemplo competencia por nutrientes y alelopatía (Celette *et al.*, 2005). Bordelon y Weller (1997) comprobaron el efecto en la reducción del crecimiento de plantas de vid en su primer año, provocado por el establecimiento previo de cultivos de cobertura, en parcelas con riego por aspersión. Aquí también se supone una combinación entre competencia y alelopatía.

El lixiviado proveniente del cultivo de *T. repens* tuvo un mayor contenido de fósforo respecto del resto de los tratamientos. Este efecto puede explicarse por la actividad radical (exudado de ácidos orgánicos) y una mayor actividad microbiológica del suelo, inducida por el aumento en el contenido de nitrógeno, que pueden haber promovido una mayor movilización de fósforo (Marschner *et al.*, 1987; Whitelaw y Donald, 1999). La reducción en el contenido de fósforo observada respecto del testigo, en la mayoría de las gramíneas, puede ser atribuida a un mayor requerimiento nutricional, que haya modificado la composición nutritiva de los lixiviados con los que posteriormente se regaron las macetas de vid. El contenido de fósforo más bajo se encontró en el tratamiento con lixiviado de *Secale cereale*, la especie con mayor cantidad de plantas por maceta debido a su corto ciclo anual. La mayor cantidad de sistemas radicales en estado inicial de desarrollo, renovados por la siembra anual, pudo en este caso, determinar un mayor requerimiento de fósforo (Römer y Schilling, 1986).

En estacas bajo invernadero, la leguminosa volvió a presentar una tendencia a incentivar mayor expresión vegetativa, posiblemente debido al citado mayor aporte de nitrógeno por la fijación biológica.

Con los resultados obtenidos respecto de la producción de materia seca de las plantas de vid, luego de tres temporadas, se puede afirmar que no existió ningún efecto alelopático evidente de los lixiviados sobre el crecimiento de cepas jóvenes.

No se comprobó el efecto alelopático de los lixiviados en la germinación de una especie sensible como *Lactuca sativa*, ni hacia otras especies como *Trifolium repens* y *Vicia sativa*.

Tampoco hubo efectos alelopáticos notorios sobre la longitud de hipocótilo y de la radícula. Se presentaron algunos resultados dispares, principalmente al evaluar la longitud de radícula en plántula. En algunos casos se inhibió (*Lactuca sativa* con lixiviado de *S. cryptandrus*) y en otros se estimuló (*L. sativa* con lixiviado de *D. californica*), dependiendo de la semilla ensayada y el tratamiento de lixiviado.

Se esperaba que los lixiviados concentrados revelaran algún efecto o tendencia de inhibición, sin embargo no tuvieron efecto sobre la germinación y con resultados dispares sobre la longitud de hipocótilo y radícula.

El hecho de no encontrar ningún compuesto químico que pudiera producir un efecto alelopático evidente puede deberse a que se trató de un lixiviado de riego, con elevada dilución o bien por el tipo de sustrato utilizado, ya que posee elevados contenidos de materia orgánica y alta capacidad de intercambio catiónico, aunque su valor está dentro del rango típico para suelos arcillosos (30 a 35 meq%g⁻¹). Se ha comprobado que la materia orgánica puede alterar el comportamiento de las sustancias alelopáticas debido a fenómenos de sorción (Tharayil *et al.*, 2006).

Thjis y colaboradores (1994) expresan que previo a la comprensión de estudios químicos exhaustivos como el aislamiento, determinación y cuantificación de aleloquímicos, existe la necesidad de desarrollar métodos experimentales que proporcionen una clara evidencia de los efectos alelopáticos entre las plantas.

Dentro de la gran diversidad de plantas, malezas y cultivadas, con potencial alelopático citadas en la literatura (Inderjit y Keating, 1999) y la enorme cantidad de sustancias aleloquímicas involucradas en las interacciones (Leicach, 2006; Leicach, 2009), entre las especies estudiadas se ha verificado la intervención de más de una sustancia. En el caso del género *Sorghum* (sorgo) se reconoce una quinona específica llamada sorgoleona, pero se citan además glicósidos cianogénicos (dhurrina), los ácidos clorogénico, p-cumárico, p-hidroxibenzaldehído, gálico, ferúlico, siríngico, protocateico, benzoico, hidroxibenzoico y vainílico (Bengoa, 1983; Bais *et al.*, 2006; Cheema *et al.*, 2007; Sampietro, 2007). En *C. dactylon* (chepica) se han reportado los ácidos cafeicos,

clorogénico, cinámico, p-cumárico y ferúlico (Velu y Rajagopal, 1996). Para *S. cereale* (centeno) se mencionan; DIBOA (2,4-dihidroxi-1,4-(2H) benzoxazina-3-ona), DIMBOA (2,4-dihidroxi-7-metoxi-1,4-benzoaxin-3-ona), ácidos fenólicos e hidroxámicos (Bertin *et al.*, 2003; Macías *et al.*, 2007). En *F. arundinacea* (festuca alta) se han identificado los ácidos láctico, succínico, málico, cítrico, shikímico, glicérico, fumárico y quínico (Peters y Luu, 1985). Los tréboles (*Trifolium spp.*) liberan compuestos fenólicos en general (Ohno y Doolan, 2001; Bertin *et al.*, 2003). Mientras que para los residuos de cultivos en general, se citan los siguientes aleloquímicos; ácidos cafeico, t-cinámico, clorogénico, p-cumárico, ferúlico, p-hidroxibenzaldehído, vainíllico y siríngico (Bengoa, 1983; Sampietro, 2007).

Sin embargo esta actividad alelopática se ha comprobado fundamentalmente en ensayos de laboratorio, diseñados para maximizar la liberación de aleloquímicos, que de otra manera no se encontrarían en la naturaleza. No muchos de los ensayos de laboratorio prestan atención a los factores edáficos y climáticos, la ecología microbiana, la dinámica de nutrientes, la densidad y otras características bióticas de la planta agresiva (Inderjit y Weston, 2000), por ello resulta difícil comprobar su incidencia bajo condiciones de campo. En algunos casos se han encontrado efectos alelopáticos de coberturas verdes sobre porta-injertos de vid, pero utilizando extractos vegetales obtenidos en laboratorio (Bettoni *et al.*, 2012).

Inderjit y del Moral (1997) afirman que es esencialmente imposible separar alelopatía de competencia por recursos en los sistemas naturales, y que cualquier esfuerzo por separarlos bajo condiciones experimentales creará condiciones que nunca ocurrirían naturalmente.

El hecho de no manifestarse evidencias significativas del efecto alelopático de los lixiviados de diversos cultivos de cobertura, no implica que éstos no interactúen negativamente con las plantas de vid, a través de la competencia por recursos. Al respecto Müller y colaboradores (1984) observaron que la disminución en el crecimiento de las cepas se correlacionó con una mayor producción de materia seca en las plantas de cobertura. Concluyendo que la interacción más importante fue la competencia por

nutrientes, aunque en condiciones de sequía, la competencia por agua superó a la competencia por nutrientes.

El presente trabajo solo consideró el potencial alelopático de sustancias hidrosolubles, exudadas o producto de la descomposición de material vegetal, arrastradas por el agua de riego. Existen otras rutas de acción de los aleloquímicos, como la liberación de sustancias volátiles desde las partes aéreas de las plantas o producto de la descomposición de residuos vegetales y raíces (Anaya, 1999). No obstante ello, las especies de las familias Poaceas (gramíneas) y Fabaceas (leguminosas) no son reconocidas por la producción de dichas sustancias (principalmente terpenos) (Leicach, 2006).

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados sugieren que, bajo las condiciones de experimentación, no existe un efecto inhibitorio significativo de los lixiviados acuosos estudiados, sobre el crecimiento de plantas jóvenes de vid ni tampoco hacia la germinación de otras especies vegetales. Los efectos negativos, tanto de malezas como de coberturas vegetales, que se observan generalmente en el campo, pueden ser atribuidos en mayor medida a la competencia por recursos (agua y nutrientes), sin descartar la intervención de ciertas interacciones alelopáticas.

El ensayo en macetas mostró que existe una interacción entre las especies y el suelo, mediante la cual el balance de nutrientes es alterado por el tipo de cultivo de cobertura, pudiendo afectar positiva o negativamente el crecimiento de las plantas de vid.

Los resultados obtenidos deben ser validados con experiencias de campo para verificar la interacción de los cultivos de cobertura y las plantas de vid bajo condiciones naturales.

CONCLUSIONES GENERALES Y PROYECCIONES FUTURAS

Las especies nativas, adaptadas a las condiciones del ambiente de la región Central de Mendoza, son factible de ser utilizadas como cultivos de cobertura en viñedos con riego localizado, tal como se ha detectado en fincas de la zona; su uso como tales debe tratar, además, de cumplir con las ventajas de las coberturas vegetales como: servir de sumidero de carbono, hacer un uso eficiente del agua, mejorar las condiciones edáficas y no causar efectos tóxicos (o dañinos) sobre las vides.

Las mediciones de intercambio gaseoso de la planta entera mediante cámaras abiertas para canopia en cultivos de cobertura, originaron datos de E_{vt} , asimilación y emisión de CO_2 que pueden contribuir al desarrollo de modelos de balance del agua en el viñedo y de asimilación o emisión de CO_2 para diversos fines.

El comportamiento fisiológico de las diferentes especies está determinado por las condiciones ecológicas del sitio, tal como se comprobó en los estudios efectuados en Alemania y Argentina respectivamente.

El manejo de una cobertura vegetal determina un balance de asimilación o almacenamiento de carbono en el suelo, el cual depende de la especie utilizada, en contraste con la emisión de carbono propia de un suelo descubierto. Estas variables deberían tomarse en cuenta al calcular la huella de carbono en sistemas agrícolas. De cualquier manera, será necesario profundizar los estudios de la dinámica de gases a través del tiempo, con el fin de comprobar si esta fijación de carbono puede ser considerada dentro del ciclo de carbono a corto plazo (rápido intercambio de carbono a través de respiración y fotosíntesis) o a largo plazo (lento intercambio), en función de su dinámica en el suelo.

La eficiencia en el uso del agua de las especies parece estar dada por el grupo funcional al cual pertenecen, más que si se trata de plantas nativas o introducidas. En este sentido, las especies del tipo C₄ fueron más eficientes que las C₃ en condiciones de temperatura elevada y restricción hídrica.

La utilización de especies nativas tipo C₄ como coberturas vegetales en viñedos de climas cálidos y secos, con sistemas de riego presurizado y localizados en las plantas, puede representar una ventaja respecto de especies introducidas, debido a que presentaron el menor consumo total de agua y fueron más eficientes. Esta particularidad resultará trascendente al momento de estimar la huella de agua en el viñedo.

Ante las condiciones climáticas a futuro que predicen un incremento de la temperatura y menor disponibilidad hídrica para la zona Centro-Oeste de la Argentina, las especies herbáceas nativas tipo C₄; como por ejemplo *Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Sporobolus cryptandrus*, *Setaria mendocina* y *Pappophorum caespitosum*; se presentan como cultivos de cobertura viables para cultivos perennes bajo riego localizado. Bajo este nuevo escenario climático son más eficientes que las especies exóticas cultivadas tipo C₃.

Especies nativas de actividad invernal del tipo C₃ (por ejemplo *Nasella tenuis*), con ciclo fenológico opuesto al del cultivo de la vid, pueden ser recomendadas en situaciones donde se busque reducir la excesiva competencia con el cultivo durante los meses de primavera.

Las gramíneas nativas están además adaptadas a suelos de baja fertilidad, por lo que pueden tener una ventaja competitiva respecto de las especies introducidas, en suelos pobres como los que generalmente se encuentran en las regiones vitivinícolas argentinas.

La ausencia de significativos efectos alelopáticos de lixiviados acuosos de especies nativas como de especies exóticas cultivadas y malezas introducidas, sobre plantas jóvenes de vid creciendo en macetas, sumado a que dichos lixiviados no tuvieron un efecto

inhibitorio evidente sobre la germinación y el crecimiento de especies sensibles, permite descartar una interferencia de esta naturaleza que ocasione daños sobre las vides.

Los resultados de los estudios eco-fisiológicos y de potencial alelopático de las especies vegetando en macetas deben ser validados con experiencias de campo en un futuro. Es necesario realizar evaluaciones de la interacción entre los cultivos de cobertura y la vid, bajo condiciones ecológicas locales.

En algunos casos específicos, será suficiente con favorecer el establecimiento espontáneo de las especies herbáceas nativas, estimulando su resiembra y multiplicación natural, a través del manejo agronómico, para lograr una efectiva cobertura de suelo a través de los años. Se puede ajustar por ejemplo, el régimen de segado a la fenología de las especies de interés, favoreciendo el semillado de las autóctonas e intentando evitar el de malezas no deseables.

En otros casos, a fin de conseguir un rápido establecimiento de una cobertura verde nativa, será recomendable avanzar en estudios sobre su multiplicación y tecnología de siembra. Las semillas de las especies nativas están cubiertas, en general, con estructuras como glumas lineares, pilosidades y aristas, por lo que resultaría sumamente difícil su siembra mediante maquinaria convencional. Aunque para estos casos se cuenta con tecnología especial, como la hidro-siembra, aparentemente la opción más sencilla y económica sería el peleteado de las semillas, lo cual permite su siembra mediante distribuidores estándar. También pueden sembrarse con un inerte o ser procesadas con maquinarias para eliminar aristas o glumelas. La disponibilidad de semilla a nivel comercial probablemente ayude a su difusión en el medio, tal como sucede en otras regiones vitícolas de zonas áridas como por ejemplo en Estados Unidos y Australia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham J., Corbin J. y D'Antonio C. 2009. California native and exotic perennial grasses differ in their response to soil nitrogen, exotic annual grass density, and order of emergence. *Plant Ecology*, 201(2): 445-456.
- Anaya A.L. 1999. Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(6): 697-739.
- Aparicio-Tejo P.M., Sánchez-Díaz M.F. y Peña J.I. 1980. Nitrogen fixation, stomatal response and transpiration in *Medicago sativa*, *Trifolium repens* and *T. subterraneum* under water stress and recovery. *Physiologia Plantarum*, 48(1): 1-4.
- Atil H. y Unver Y. 2001. Multiple comparisons. *Online Journal of Biological Sciences*, 1(8): 723-727.
- Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Gilroy S. y Vivanco J.M. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57(1): 233-266.
- Baldocchi D.D., Hincks B.B. y Meyers T.P. 1988. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology*, 69(5): 1331-1340.
- Beale C.V., Morison J.I.L. y Long S.P. 1999. Water use efficiency of C₄ perennial grasses in a temperate climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 96(1-3): 103-115.
- Bélanger G., Gastal F. y Warembourg F.R. 1994. Carbon balance of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.): effects of nitrogen fertilization and the growing season. *Annals of Botany*, 74(6): 653-659.
- Bengoa R. 1983. Efecto alelopático de cinco malezas perennes sobre el crecimiento de plantas jóvenes de duraznero. Magister en Ciencias Agropecuarias. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 116 pp.
- Berry J. y Bjorkman O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31(1): 491-543.
- Bertin C., Yang X. y Weston L.A. 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 256(1): 67-83.
- Bettoni J.C., Gardin J.P.P., Feldberg N.P. y Dalbo M.A. 2012. Potencial alelopático de plantas de cobertura verde de invierno sobre o crecimiento do porta-enxerto VR043-43. *Revista Ceres*, 59(1): 136-141.
- Blum U. 1996. Allelopathic interactions involving phenolic acids. *Journal of Nematology*, 28(3): 259-267.
- Böll K.P. 1967a. Versuche zur Gründüngung im Weinbau. *Vitis*, 6: 151-176.
- Böll K.P. 1967b. Versuche zur Gründüngung im Weinbau. II. Spätsommersaatversuche. *Vitis*, 6: 21-44.
- Boninsegna J.A. 2011. Cambio climático: potencial impacto sobre la industria vitivinícola. *Revista 13°*, año 3 (n° 23): 50-56.
- Boninsegna J.A. y Villalba R. 2006. Los escenarios de cambio climático y el impacto en los caudales. Documento sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y

- San Juan en escenarios de cambio climático. SAyDS. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. 26 pp.
- Bordelon B.P. y Weller S.C. 1997. Preplant cover crops affect weed and vine growth in first-year vineyards. *HortScience*, 32(6): 1040-1043.
- Boutraa T. 2010. Improvement of water use efficiency in irrigated agriculture: a review. *Journal of Agronomy*, 9: 1-8.
- Bowman G., Shirley C. y Cramer C. 1998. Managing cover crops profitably. 2nd edition. Handbook Series Book 3. USDA Sustainable Agriculture Network. Beltsville, MD. 212 pp.
- Brinker A.M. y Creasy L.L. 1988. Inhibitors as a possible basis for grape replant problem. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113(3): 304-309.
- Bugg R.L. y Waddington C. 1994. Using cover crops to manage arthropod pests of orchards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 50(1): 11-28.
- Bull T.A. 1969. Photosynthetic efficiencies and photorespiration in Calvin cycle and C₄-dicarboxylic acid plants. *Crop Science*, 9(6): 726-729.
- Burkart S., Manderscheid R. y Weigel H.-J. 2007. Design and performance of a portable gas exchange chamber system for CO₂- and H₂O-flux measurements in crop canopies. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1): 25-34.
- Capitanelli R. 1967. Climatología de Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos*, (54-57): 332-335.
- Catania C.D., Avagnina de del Monte M.S., Uliarte E.M., del Monte R.F. y Tonietto J. 2007. El clima vitícola de las regiones productoras de uvas para vinos de Argentina. En: *Caracterização climática de regiões vitivinícolas ibero-americanas*. CYTED, Embrapa, INTA. Bento Gonçalves, Brasil. pp. 9-64.
- Cavagnaro J.B. 1988. Distribution of C₃ and C₄ grasses at different altitudes in a temperate arid region of Argentina. *Oecologia*, 76(2): 273-277.
- Cavagnaro J.B. y Dalmaso A.D. 1983. Respuesta a la intensidad y frecuencia de corte en gramíneas nativas de Mendoza. 1. *Pappophorum caespitosum* y *Trichloris crinita*. *Deserta*, 7: 203-218.
- Cavagnaro J.B. y Dalmaso A.D. 1986. Ensayo bajo riego de pasturas nativas en áreas cultivadas. Informe interno. Mendoza, IADIZA.
- Celette F., Findeling A. y Gary C. 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, 30(1): 41-51.
- Celette F., Wery J., Chantelot E., Celette J. y Gary C. 2005. Belowground Interactions in a Vine (*Vitis vinifera* L.)-Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) Intercropping system: water relations and growth. *Plant and Soil*, 276(1): 205-217.
- Centinari M., Poni S., Filippetti I., Magnanini E. y Intrieri C. 2009. Evaluation of an open portable chamber system for measuring cover crop water use in a vineyard and comparison with a mini-lysimeter approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(11): 1975-1982.
- Centinari M., Poni S., Intrigliolo D.S., Dragoni D. y Lakso A.N. 2012. Cover crop evapotranspiration in a northeastern US Concord (*Vitis labruscana*) vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(1): 73-79.
- Claassen V.P. y Marler M. 1998. Annual and perennial grass growth on nitrogen-depleted decomposed granite. *Restoration Ecology*, 6(2): 175-180.
- Colugnati G., Cattarossi G. y Crespan G. 2006. L'inerbimento nel vigneto moderno. *L'Informatore Agrario*, 62(10): 53-65.

- Conte S. y Fayad F. 2012. El agua que no se ve en lo que comemos. El caso de la uva mendocina. En: Diario Los Andes, Mendoza, 25 de marzo de 2012.
- Costello M. 1999. Native Grass Species for use as Perennial Cover Crops in San Joaquin Valley Vineyards. Final Project Report. Publicado en internet, disponible en <http://www.sarep.ucdavis.edu/grants/Reports/Costello/costello97-07.htm>. Acceso: mayo, 2009.
- Cox J.R., Giner-Mendoza M., Dobrenz A.K. y Smith M.F. 1992. Defoliation effects on resource allocation in Arizona cottontop (*Digitaria californica*) and Lehmann lovegrass (*Eragrostis lehmanniana*). Journal of the Grassland Society of Southern Africa, 9(2): 53-59.
- Cox L.M. y Boersma L. 1967. Transpiration as a function of soil temperature and soil water stress. Plant Physiology, 42(4): 550-556.
- Cheema Z.A., Khaliq A., Abbas M. y Farooq M. 2007. Allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars for weed management. Allelopathy Journal, 20(1): 167-178.
- Chick T.A. y Kielbaso J.J. 1998. Allelopathy as an Inhibition factor in ornamental tree growth: implications from the literature. Journal of Arboriculture, 24(5): 274-279.
- Chou C.H. y Lin H.J. 1976. Autointoxication mechanism of *Oryza sativa* I. Phytotoxic effects of decomposing rice residues in soil. Journal of Chemical Ecology, 2(3): 353-367.
- Dalmasso A.D. 1994. Fenología de cinco gramíneas nativas de interés forrajero. *Pappophorum caespitosum*, *Trichloris crinita*, *Setaria leucophila*, *Digitaria californica* y *Diplachne dubia*. Multequina, 3: 9-34.
- Dalmasso A.D., Candia R. y Ganci C. 2009. La xerojardinería con especies nativas. Boletín de Extensión Científica 6. Mendoza, Fundación CRICYT - CONICET - IADIZA CCT. INCA Editorial. 80 pp.
- Dalmasso A.D., Cavagnaro J.B., Borsetto O. y Passera C.B. 1983. Curva de producción forrajera de *Pappophorum caespitosum*. Deserta, 7: 40-47.
- Danne A., Thomson L.J., Sharley D.J., Penfold C.M. y Hoffmann A.A. 2010. Effects of native grass cover crops on beneficial and pest invertebrates in Australian vineyards. Environmental Entomology, 39(3): 970-978.
- del Monte R.F., Ambrogetti A., Catania C., Avagnina de del Monte S. y Perez Peña J. 2000. Manejo de suelo mediante coberturas vegetales en el viñedo regadío. Resultados preliminares ciclo: 1999. Encuentro con el Malbec. INTA EEA Mendoza.
- del Monte R.F., Mathey C.A. y Quiroga de Oriolani M.E. 1994. Eficiencia comparativa entre sistemas de labranza y coberturas de flora natural en viticultura regadía. Horticultura Argentina, 13 (34-35): 87-98.
- Derpsch R., Sidiras N. y Roth C.H. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil and Tillage Research, 8(0): 253-263.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. 2011. InfoStat. Grupo InfoStat F.C.A. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Doliner L.H. y Jolliffe P.A. 1979. Ecological evidence concerning the adaptive significance of the C₄ dicarboxylic acid pathway of photosynthesis. Oecologia, 38(1): 23-34.

- Donaldson D.R., Snyder R.L., Elmore C. y Gallagher S. 1993. Weed control influences vineyard minimum temperatures. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4): 431-434.
- Dornbos D.L., Spencer G.F. y Miller R.W. 1990. Medicago delays alfalfa seed germination and seedling growth. *Crop Science*, 30: 162-166.
- Downes R.W. 1969. Differences in transpiration rates between tropical and temperate grasses under controlled conditions. *Planta*, 88: 261-273.
- Dugas W.A., Reicosky D.C. y Kiniry J.R. 1997. Chamber and micrometeorological measurements of CO₂ and H₂O fluxes for three C₄ grasses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 83(1-2): 113-133.
- Ehleringer J.R. 1978. Implications of quantum yield differences on the distributions of C₃ and C₄ grasses. *Oecologia*, 31(3): 255-267.
- Ehleringer J.R., Sage R.F., Flanagan L.B. y Pearcy R.W. 1991. Climate change and the evolution of C₄ photosynthesis. *Trends in Ecology & Evolution*, 6(3): 95-99.
- Einhellig F.A. 1996. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal*, 88(6): 886-893.
- Fang C. y Moncrieff J.B. 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(2): 155-165.
- FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO, Land and Water Development Division. Rome. 214 pp.
- Feldhake C.M., Danielson R.E. y Butler J.D. 1983. Turfgrass evapotranspiration. I. Factors influencing rate in urban environments. *Agronomy Journal*, 75(5): 824-830.
- FIVS. 2008. International wine carbon calculator protocol. Version 1.2. Paris, France. 152 pp.
- Fourie J.C., Agnabag G.A. y Louw P.J.E. 2007a. Cover crop management in a Sauvignon Blanc/Ramsey vineyard in the semi-arid Olifants River Valley, South Africa. 3 Effect of different cover crops and cover crop management practices on the organic matter and macro-nutrient contents of a sandy soil. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 28: 92-100.
- Fourie J.C., Louw P.J.E. y Agnabag G.A. 2007b. Cover crop management in a Sauvignon Blanc/Ramsey vineyard in the semi-arid Olifants River Valley, South Africa. 2. Effect of different cover crops and cover crop management practices on grapevine performance. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 28: 81-91.
- Frank A.B., Liebig M.A. y Hanson J.D. 2002. Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(9): 1235-1241.
- Gáborčík N. 2003. Relationship between contents of chlorophyll (*a+b*) (*SPAD* values) and nitrogen of some temperate grasses. *Photosynthetica*, 41(2): 285-287.
- Gibson A.C. 1998. Photosynthetic organs of desert plants. *BioScience*, 48(11): 911-920.
- Greco S.A. y Cavagnaro J.B. 2005. Growth characteristics associated with biomass production in three varieties of *Trichloris crinita* (Poaceae), a forage grass native to the arid regions of Argentina. *The Rangeland Journal*, 27(2): 135-142.
- Groupe Columa Vigne. 2004. L'enherbement. ANPP. 18 pp. Publicado en internet, disponible en <http://www.afpp.net/columa/documents/Enherbement.PDF>. Acceso: enero 2004.
- Gulick S.H., Grimes D.W., Goldhamer D.A. y Munk D.S. 1994. Cover-crop-enhanced water infiltration of a slowly permeable fine sandy loam. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5): 1539-1546.

- Gur A. y Cohen Y. 1989. The peach replant problem - some causal agents. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(6): 829-834.
- Hernández Santiesteban Y., Alfaro Alfaro E., Mederos Medros D. y Rivas Figueredo E. 2009. Las coberturas vivas en sistemas de cultivos agrícolas *Temas de Ciencia y Tecnología*, 13(38): 7-16.
- Hikosaka K., Hanba Y.T., Hirose T. y Terashima I. 1998. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in leaves of woody and herbaceous species. *Functional Ecology*, 12(6): 896-905.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. y Mekonnen M.M. 2011. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. London, UK. Water Footprint Network. 224 pp.
- Hudson R.R., Aleska A., Masotta H.T. y Muro A. 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Provincia de Mendoza. Escala 1: 1.000.000. En: INTA-CIRN/PNUD. Buenos Aires. pp. 71-106.
- Hulme M. y Sheard N. 1999. *Escenarios de Cambio Climático para Argentina*. Norwich, Reino Unido, Unidad de Investigación Climática. 6 pp.
- Hutchinson J.J., Campbell C.A. y Desjardins R.L. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2-4): 288-302.
- INDEC. 2002. Censo Nacional Agropecuario 2002. Publicado en internet, disponible en http://www.indec.gov.ar/agropecuaria/cna_principal.asp. Acceso: diciembre, 2008.
- Inderjit. 2001. Soil: environmental effects on allelochemical activity. *Agronomy Journal*, 93(1): 79-84.
- Inderjit. 2005. Soil microorganisms: an important determinant of allelopathic activity. *Plant and Soil*, 274(1): 227-236.
- Inderjit y Callaway R.M. 2003. Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*, 256(1): 1-11.
- Inderjit y del Moral R. 1997. Is separating resource competition from allelopathy realistic? *The Botanical Review*, 63(3): 221-230.
- Inderjit y Keating K.I. 1999. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advances in Agronomy*, 67: 141-231.
- Inderjit y Weston L.A. 2000. Are laboratory bioassays for allelopathy suitable for prediction of field responses? *Journal of Chemical Ecology*, 26(9): 2111-2118.
- Ingels C.A., Bugg R.L., McGourty G.T. y Christensen L.P. 1998. *Cover cropping in vineyards, a grower's handbook*. U.C. A.N.R. . Oakland, California. 162 pp.
- Ingels C.A. y Klonsky K.M. 1998. Historical and current uses. En: *Cover cropping in vineyards: a grower's handbook*. Oakland, CA. pp. 3-7.
- Ingels C.A., Scow K.M., Whisson D.A. y Drenovsky R.E. 2005. Effects of Cover Crops on Grapevines, Yield, Juice Composition, Soil Microbial Ecology, and Gopher Activity. *Am. J. Enol. Vitic.*, 56(1): 19-29.
- INV. 2008. Síntesis Básica de Estadística Vitivinícola Argentina. Publicado en internet, disponible en http://www.inv.gov.ar/noticias/CD-2007PRE/SINTESIS_ACTUALIZADA_OCTUBRE2008.xls. Acceso: noviembre, 2008.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. IPCC. 104 pp.

- Jones G., White M., Cooper O. y Storchmann K. 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic change*, 73(3): 319-343.
- Kamh M., Horst W., Amer F., Mostafa H. y Maier P. 1999. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. *Plant and Soil*, 211(1): 19-27.
- Kanneganti V.R. y Fick G.W. 1991. A warm-season annual grass growth model parameterized for maize and sudangrass. *Agricultural Systems*, 36(4): 439-470.
- Katerji N., Mastrorilli M. y Rana G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28(4): 493-507.
- Kilcher L. 1998. Curso Básico de Producción Orgánica Agrícola y Pecuaria. Manuscritos para curso realizado entre 20-24 Abril. Autulán de Navarro, Mexico.
- Kizil S., Tansi V. y Cinar S. 2010. An investigation on determining the effects of different nitrogen and zinc fertilizer doses on plant nutrient composition of Sorghum-Sudangrass Hybrids (*Sorghum bicolor* + *Sorghum sudanense*) grown as a main crop under Çukurova/Turkey conditions. *Biological Diversity and Conservation*, 3(3): 26-30.
- Kröpfl A.I., Deregibus V.A. y Cecchi G.A. 2007. Disturbios en una estepa arbustiva del Monte: cambios en la vegetación. *Ecología Austral*, 17(2): 257-268.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2): 1-22.
- Lambers H., Chapin F.S.I. y Pons T.L. 1998. Plant physiological ecology. Springer. Berlin Heidelberg New York. 540 pp.
- Langdale G.W., Blevins R.L., Karlen D.L., McCool D.K., Nearing M.A., Skidmore E.L., Thomas A.W., Tyler D.D. y Williams J.R. 1991. Cover crop effects on soil erosion by wind and water. En: *Cover Crops for Clean Water*. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, IA. pp. 15-21.
- Larcher W. 2003. Carbon utilization and dry matter production. En: *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer. Berlin Heidelberg New York. pp. 69-173.
- Leicach S.R. 2006. Alelopatía. Interacciones químicas en la comunicación y defensa de las plantas. 1ra ed. Eudeba. Buenos Aires. 208 pp.
- Leicach S.R. 2009. Biomoléculas. Estructura y rol en el crecimiento y supervivencia de las plantas. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 305 pp.
- Liu A., Ma B.L. y Bomke A.A. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Science Society of America Journal*, 69(6): 2041-2048.
- Lopes C., Monteiro A., Rückert F.E., Gruber B., Steinberg B. y Schultz H.R. 2004. Transpiration of grapevines and co-habiting cover crop and weed species in a vineyard. A "snapshot" at diurnal trends. *Vitis*, 43(2): 111-117.
- Macías F.A., Molinillo J.M.G., Varela R.M. y Galindo J.C.G. 2007. Allelopathy - a natural alternative for weed control. *Pest Management Science*, 63(4): 327-348.
- Maigre D., Aerny J. y Murisier F. 1995. Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas: influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture*, 27: 237-251.
- Malinowski D.P., Belesky D.P. y Fedders J. 1998. Photosynthesis of white clover (*Trifolium Repens* L.) germplasms with contrasting leaf size. *Photosynthetica*, 35(3): 419-427.

- Marschner H., Römheld V. y Cakmak I. 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *Journal of Plant Nutrition*, 10(9-16): 1175-1184.
- McGourty G.T. y Christensen L.P. 1998. Cover cropping systems and their management. En: *Cover cropping in vineyards: a grower's handbook*. Oakland, CA. pp. 43-57.
- McGuire W.S. y Hannaway D.B. 1984. Cover and green manure crops for northwest nurseries. En: *Forest nursery manual : production of bareroot seedlings* Martinus Nijhoff/Dr W. Junk. The Hague/Boston/Lancaster. pp. 87-91.
- McLeod R.W. y Steel C.C. 1999. Effects of brassica-leaf green manures and crops on activity and reproduction of *Meloidogyne javanica*. *Nematology*, 1(6): 613-624.
- Microsoft Corporation. 2010. Excel. Redmond, WA, USA.
- Miranda O. y Medina A. 2005. Adopción de riego localizado en las provincias de Mendoza y San Juan. *Ruralis*, Año 2 (Nº 6): 15-17.
- Molisch H. 1937. Der einfluss einer pflanze auf die andere: allelopathie. Gustav Fischer. Jena. 20 pp.
- Monteiro A. y Lopes C.M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(4): 336-342.
- Morábito J. 2012. Las eficiencias de riego y la determinación de la huella hídrica en nuestros oasis regadíos. Publicado en internet, disponible en <http://www.imd.uncu.edu.ar/upload/morabito.pdf>. Acceso: abril, 2013.
- Morlat R. y Jacquet A. 2003. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(1): 1-7.
- Müller C.H. 1966. The role of chemical inhibition (allelopathy) in vegetational composition. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 93(5): 332-351.
- Müller W., Rühl E. y Gebbing H. 1984. Untersuchungen über die wechselwirkung zwischen rebe und begrünungspflanzen. *Die Wein-Wissenschaft*, (39): 3-15.
- Nijs I., Impens I. y Behaeghe T. 1989. Effects of different CO₂ environments on the photosynthesis-yield relationship and the carbon and water balance of a White Clover (*Trifolium repens* L. cv. Blanca) sward. *Journal of Experimental Botany*, 40(3): 353-359.
- Noy-Meir I. 1973. Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 25-51.
- Ohno T. y Doolan K.L. 2001. Effects of red clover decomposition on phytotoxicity to wild mustard seedling growth. *Applied Soil Ecology*, 16(2): 187-192.
- Olmstead M.A., Wample R.L., Greene S.L. y Tarara J.M. 2001. Evaluation of Potential Cover Crops for Inland Pacific Northwest Vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.*, 52(4): 292-303.
- Parodi L.R. 1964. Regiones fitogeográficas Argentinas. Acme. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires. 2: pp.1-14.
- Paynel F., J Murray P. y Bernard Cliquet J. 2001. Root exudates: a pathway for short-term N transfer from clover and ryegrass. *Plant and Soil*, 229(2): 235-243.
- Pearcy R.W. y Ehleringer J. 1984. Comparative ecophysiology of C₃ and C₄ plants. *Plant, Cell & Environment*, 7(1): 1-13.
- Penfold C., Henschke P., Vagnarelli B., Stafford J., Sells P., Christie G. y Zwiarsen T. 2005. Pursuing sustainability - the role of native ground covers. *Australian Viticulture*, 9(2): 46-48.

- Penfold C.M. 2010a. Native grass cover crops. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, (554): 48-51.
- Penfold C.M. 2010b. Should I try saltbush for a cover crop? *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, (552): 16-18.
- Peters E.J. y Luu K.T. 1985. Allelopathy in Tall Fescue. En: *The Chemistry of Allelopathy*. American Chemical Society. pp. 273-283.
- Pfister M. 2005. Consommation hydrique de diferentes espèces d'enherbement au champ. Mesure directe avec une chambre d'étude du couvert végétal. Mémoire de fin d'études Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux. 89 pp.
- Pieters A.J. 1927. History of green manuring. En: *Green manuring. Principles and practice*. J. Wiley & Sons New York. pp. 10-14.
- Prichard T.L. 1998. Water use and infiltration. En: *Cover Cropping in Vineyards. A Grower's Handbook*. Publication 3338. University of California. Oakland, USA. pp. 86-90.
- Prichard T.L., Sills W.M., Asai W.K., Hendricks L.C. y Elmore C.L. 1989. Orchard water use and soil characteristics. *California Agriculture*, 43(4): 23-25.
- Reicosky D.C. 1997. Tillage-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49(1): 273-285.
- Reynolds L.B., Potter J.W. y Ball-Coelho B.R. 2000. Crop Rotation with Tagetes sp. is an Alternative to Chemical Fumigation for Control of Root-Lesion Nematodes. *Agron J*, 92(5): 957-966.
- Rice E.L. 1984. *Allelopathy*. Academic Press. Orlando, Florida. 422 pp.
- Rijsberman F.R. 2006. Water scarcity: fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80 (Special issue on water scarcity: challenges and opportunities for crop science): 5-22.
- Roig F. 1969. Bosquejo fisonómico de la vegetación de la provincia de Mendoza. *Bol. Soc. Arg. Bot.*, 13 (Supl): 49-80.
- Roig F. 1970. La reserva forestal de Ñacuñán. En: *Aportes al inventario de los recursos naturales renovables de la provincia de Mendoza* pp. 239.
- Roig F. 1976. Las comunidades del piedemonte de la precordillera de Mendoza. *Ecosur*, 3(5): 1-45.
- Römer W. y Schilling G. 1986. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. *Plant and Soil*, 91(2): 221-229.
- Ruiz Leal A. 1972. *Flora popular mendocina*. Deserta, 3.
- Rustad L.E., Huntington T.G. y Boone R.D. 2000. Controls on soil respiration: implications for climate change. *Biogeochemistry*, 48(1): 1-6.
- Sainju U.M., Singh B.P. y Whitehead W.F. 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil and Tillage Research*, 63(3-4): 167-179.
- Sampietro D.A. 2007. Alelopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. Hipertextos del área de biología. Publicado en internet, disponible en <http://www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm>. Acceso: octubre, 2007.
- Sarrantonio M. 1995. Leguminosas mejoradoras del suelo. Metodologías de evaluación. Instituto Rodale. Kutztown, EEUU. 301 pp.
- SAyDS. 2007. 2^{da} Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Sustentable, S.d.A.y.D. Buenos Aires, Argentina, República de Argentina. 201 pp.

- Scott R. y Sullivan W. 2007. A review of suitable companion crops for black walnut. *Agroforestry Systems*, 71(3): 185-193.
- Schultz H.R. 2000. Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(1): 2-12.
- Singh K. y Misra G. 1985. Water-use efficiency of one C₃ and two C₄ grasses in response to varying soil moisture and herbage-removal levels in a seasonally dry tropical region. *Plant and Soil*, 88(2): 171-180.
- Sirca C., Asunis C., Spano D., Arca A. y Duce P. 2004. Soil CO₂ flux measurements in vineyard ecosystem. IVth IS on Irrigation of Hort. Crops, ISHS, pp.615-621.
- Smith S.E., Fendenheim D.M. y Halbrook K. 2006. Epidermal conductance as a component of dehydration avoidance in *Digitaria californica* and *Eragrostis lehmanniana*, two perennial desert grasses. *Journal of Arid Environments*, 64(2): 238-250.
- Søe A.R.B., Giesemann A., Anderson T.-H., Weigel H.-J. y Buchmann N. 2004. Soil respiration under elevated CO₂ and its partitioning into recently assimilated and older carbon sources. *Plant and Soil*, 262(1): 85-94.
- Spring J. y Delabays N. 2006. Essai d'enherbement de la vigne avec des espèces peu concurrentielles: aspects agronomiques. *Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture*, 39(6): 355-359.
- Staver K.W. y Brinsfield R.B. 1998. Using cereal grain winter cover crops to reduce groundwater nitrate contamination in the mid-Atlantic coastal plain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3): 230-240.
- Steenwerth K. y Belina K.M. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40(2): 359-369.
- Steenwerth K.L., Pierce D.L., Carlisle E.A., Spencer R.G.M. y Smart D.R. 2010. A vineyard agroecosystem: disturbance and precipitation affect soil respiration under Mediterranean conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 74(1): 231-239.
- Sturite I., Uleberg M., Henriksen T., Jørgensen M., Bakken A. y Breland T. 2006. Accumulation and loss of nitrogen in White Clover (*Trifolium repens* L.) plant organs as affected by defoliation regime on two sites in Norway. *Plant and Soil*, 282(1): 165-182.
- Sweet R.M. y Schreiner R.P. 2010. Alleyway cover crops have little influence on Pinot noir grapevines (*Vitis vinifera* L.) in two Western Oregon vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(2): 240-252.
- Systat Software Inc. 2008. Sigmaplot 11.0. Richmond, CA, USA.
- Teasdale J.R. 1996. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal Production Agriculture*, 9(4): 475-479.
- Tesic D., Keller M. y Hutton R.J. 2007. Influence of Vineyard Floor Management Practices on Grapevine Vegetative Growth, Yield, and Fruit Composition. *Am. J. Enol. Vitic.*, 58(1): 1-11.
- Tharayil N., Bhowmik P.C. y Xing B. 2006. Preferential sorption of phenolic phytotoxins to soil: Implications for altering the availability of allelochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(8): 3033-3040.
- Thijs H., Shann J.R. y Weidenhamer J.D. 1994. The effect of phytotoxins on competitive outcome in a model system. *Ecology*, 75(7): 1959-1964.

- Uliarte E.M. y del Monte R.F. 2006. Coberturas de flora establecida en viticultura regadía. Informe final de convenio de asistencia técnica: INTA EEA Mendoza - Bodega Norton S.A. Luján de Cuyo. INTA EEA Mendoza. 54 pp.
- Uliarte E.M., del Monte R.F., Ambrogetti A.O. y Montoya M.A. 2009a. Evaluación y elección de diferentes especies de coberturas vegetales en viñedos bajo riego de Mendoza. *Revista 13°*, año 2(15): 18-34.
- Uliarte E.M., del Monte R.F. y Parera C.A. 2006. Influencia del manejo de suelo mediante coberturas vegetales en el microclima de viñedos bajo riego (cv. Malbec). *Le Bulletin de l'OIV*, 79 (899-900): 5-22.
- Uliarte E.M., Del Monte R.F., Parera C.A., Catania C.D. y Avagnina de Del Monte S.M. 2009b. Influencia del manejo de suelo mediante coberturas vegetales establecidas en el desarrollo vegetativo, producción y características de vinos en viñedos bajo riego superficial (cv. Malbec). *Le Bulletin de l'OIV*, 82(938-939-940): 205-227.
- Velu G. y Rajagopal A. 1996. Allelopathic impact of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and bermudagrass (*Cynodon dactylon*) on soybean (*Glycine max*). *Indian J. Agric. Sci.*, 66: 363-365.
- Villagra P.E., Giordano C., Alvarez J.A., Cavagnaro J.B., Guevara A., Sartor C., Passera C.B. y Greco S. 2011. Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología Austral*, 21(1): 29-42.
- von Caemmerer S. y Furbank R. 2003. The C₄ pathway: an efficient CO₂ pump. *Photosynthesis Research*, 77(2): 191-207.
- Vorosmarty C.J., Green P., Salisbury J. y Lammers R.B. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289(5477): 284-288.
- Weaver J.E. 1926. Root development of field crops. 1°. McGraw-Hill Book Company Inc. New York. 291 pp.
- Whitelaw M.A. y Donald L.S. 1999. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. En: *Advances in Agronomy*. Academic Press. pp. 99-151.
- Whittaker R.H. y Feeny P.P. 1971. Allelochemicals: chemical interactions between species. *Science*, 171(3973): 757-770.
- Wiedmann T. y Minx J. 2008. A definition of 'Carbon Footprint'. En: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*. Nova Science Publishers. Hauppauge NY, USA. pp. 1-11.
- Willer H. 2008. Organic Viticulture in Europe: Development and current statistics. Organic wine and viticulture conference. Levizzano near Modena, Italy.
- Willis R.J. 1985. The historical bases of the concept of allelopathy. *Journal of the History of Biology*, 18(1): 71-102.
- Youngner V.B., Marsh A.W., Strohmman R.A., Gibeault V.A. y Spaulding S. 1981. Water use and turf quality of warm-season and cool-season turfgrasses. *California Turfgrass Culture*, 31(3): 1-4.
- Yunusa I.A.M., Walker R.R. y Guy J.R. 1997. Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. *Irrigation Science*, 18(1): 45-54.
- Zalazar M. 2012. Plantar aromáticas cerca de la vid, ¿transfiere características al vino? En: *Diario Los Andes. Suplemento Fincas, Mendoza, Sábado, 1 de septiembre*.

Zuloaga F.O., Morrone O. y Belgrano M.J. 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. Vol. 1. *Pteridophyta*, *Gymnospermae* y *Monocotyledonae*. Monographs in Systematic Botany 107. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri. 3486 pp.

ANEXO 1

**ESTABLECIMIENTO ESPONTÁNEO DE HERBÁCEAS NATIVAS EN VIÑEDOS
BAJO RIEGO LOCALIZADO**



Anexo 1A. Establecimiento espontáneo de herbáceas nativas en viñedos bajo riego localizado. Finca Clement, Santa Rosa, Mendoza. Febrero de 2007.



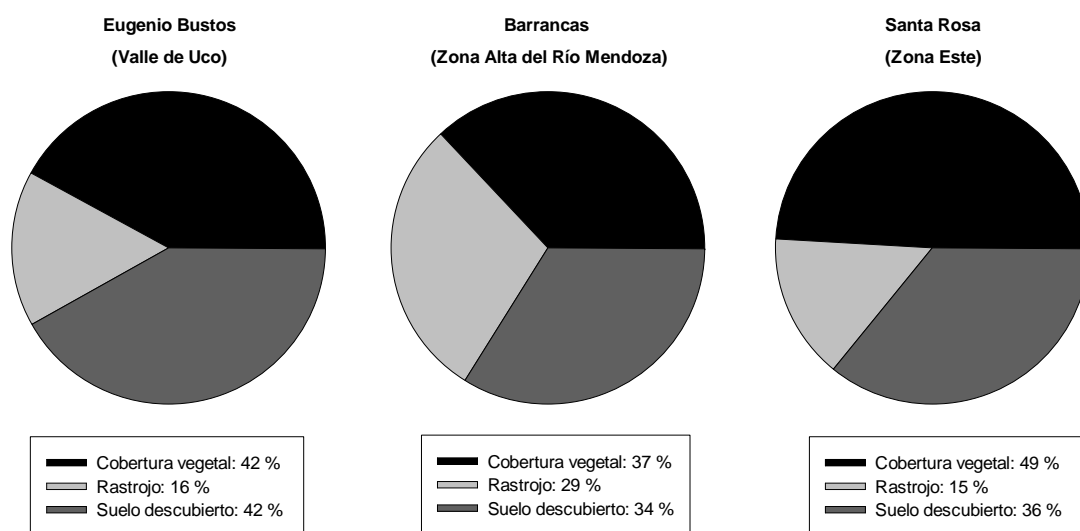
Anexo 1B. Establecimiento espontáneo de herbáceas nativas en viñedos bajo riego localizado. Fincas del Inca, Barrancas, Mendoza. Marzo de 2007.



Anexo 1C. Establecimiento espontáneo de herbáceas nativas en viñedos bajo riego localizado. Finca La Celia, San Carlos, Mendoza. Febrero de 2007.

ANEXO 2

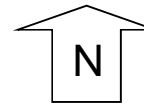
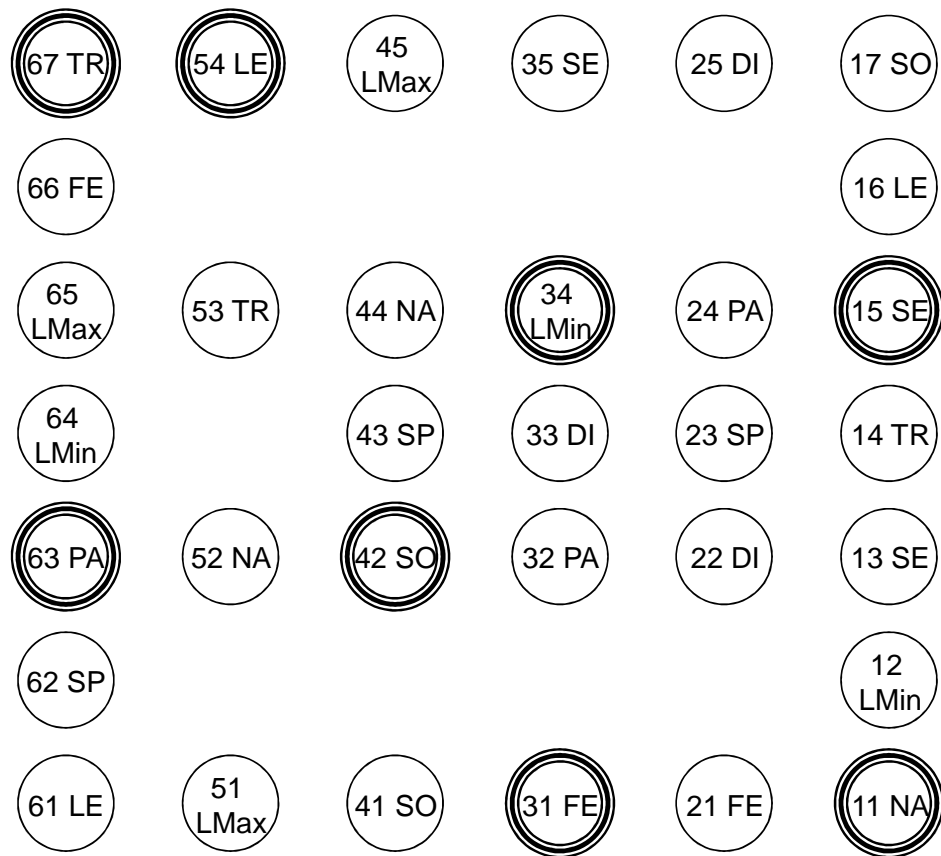
TIPO DE COBERTURA DE SUELO (%) EN EL SITIO INTERFILAR DE TRES
VIÑEDOS BAJO RIEGO POR GOTEO, EN DIFERENTES ZONAS VITÍCOLAS DE
LA PROVINCIA DE MENDOZA



Anexo 2. Tipo de cobertura de suelo (%) en el sitio interfilar de tres viñedos bajo riego por goteo, en diferentes zonas vitícolas de la provincia de Mendoza. Marzo de 2007.

ANEXO 3

DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO DE DINÁMICA ESTACIONAL DEL
INTERCAMBIO GASEOSO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y DEL SUELO CON
DIFERENTES LABRANZAS



Referencias:

Parcelas Nº	Tratamiento	Código
22-25-33	<i>Digitaria californica</i>	DI
16-54-61	<i>Leptochloa dubia</i>	LE
13-15-35	<i>Setaria mendocina</i>	SE
24-32-63	<i>Pappophorum caespitosum</i>	PA
23-43-62	<i>Sporobolus cryptandrus</i>	SP
11-44-52	<i>Nassella tenuis</i>	NA
14-53-67	<i>Trifolium repens</i>	TR
21-31-66	<i>Festuca arundinacea</i>	FE
17-41-42	<i>Sorghum sudanense</i>	SO
12-34-64	Labranza mínima	LMin
45-51-65	Labranza máxima	LMax



Parcelas provistas con tubos de acceso para el seguimiento de la humedad del suelo

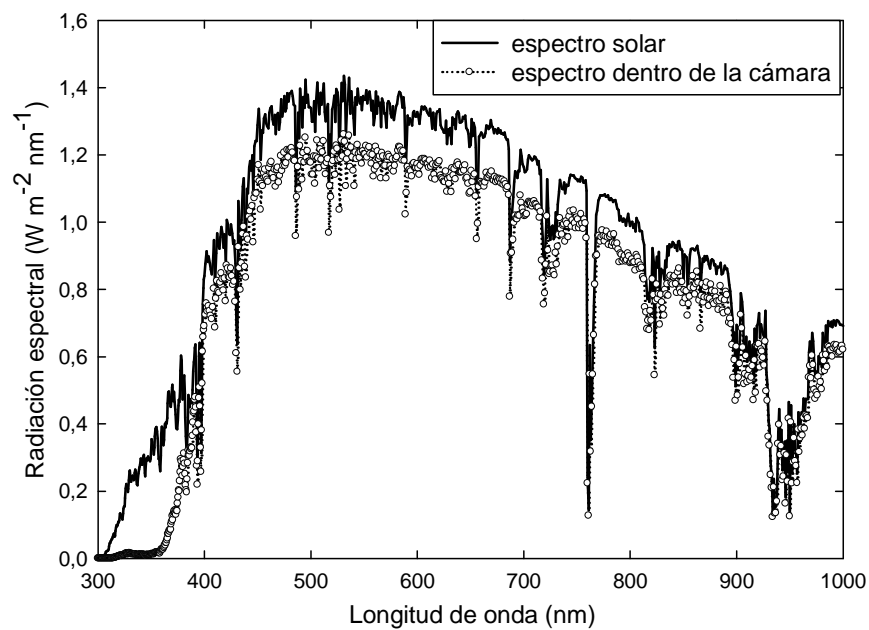


Parcelas sin tubos de acceso para el seguimiento de la humedad del suelo

Anexo 3. Diseño experimental del estudio de dinámica estacional del intercambio gaseoso de cultivos de cobertura y del suelo con diferentes labranzas en Alemania. Parcelas completamente al azar con once tratamientos y tres repeticiones.

ANEXO 4

**CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DEL FILM UTILIZADO PARA CUBRIR LAS
CÁMARAS EXPERIMENTALES**

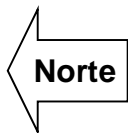


Anexo 4. Características espectrales del film utilizado para cubrir las cámaras experimentales, en comparación con el espectro solar. Mediciones efectuadas con un espectro-radiómetro entre los 300 y 1.000 nm y comparado con los datos de radiación espectral para el día 9 de septiembre en el hemisferio Norte (Pfister, 2005).

ANEXO 5

**DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO DE INTERCAMBIO GASEOSO Y
EFICIENCIA HÍDRICA DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA**

4	5
19	49
23	42
39	36
48	27
9	52
30	24
1	47
54	29
37	35
57	10
6	16
28	41
51	32
14	11
18	40
3	58
33	53
12	17
56	13
44	59
46	15
26	38
31	22
50	55
2	7
8	21
60	45
20	43
34	25

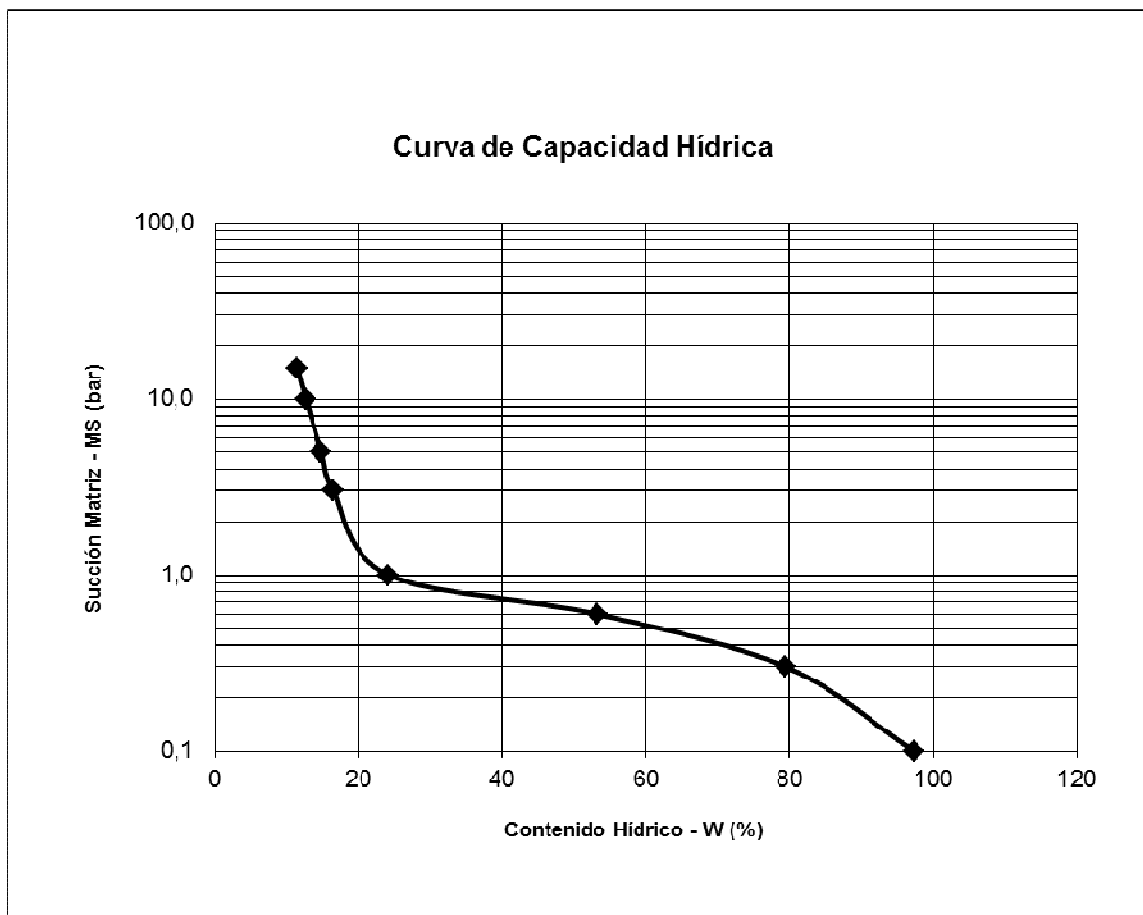


Maceta Nº	Tratamiento
1 a 5	<i>Setaria mendocina</i>
6 a 10	<i>Pappophorum caespitosum</i>
11 a 15	<i>Digitaria californica</i>
16 a 20	<i>Leptochloa dubia</i>
21 a 25	<i>Sporobolus cryptandrus</i>
26 a 30	<i>Nassella tenuis</i>
31 a 35	Suelo descubierto
36 a 40	<i>Secale cereale</i>
41 a 45	<i>Cynodon dactylon</i>
46 a 50	<i>Trifolium repens</i>
51 a 55	<i>Festuca arundinacea</i>
56 a 60	<i>Sorghum halepense</i>

Anexo 5. Diseño experimental del estudio de intercambio gaseoso y eficiencia hídrica de los cultivos de cobertura en Mendoza. Parcelas completamente al azar con doce tratamientos y cinco repeticiones.

ANEXO 6

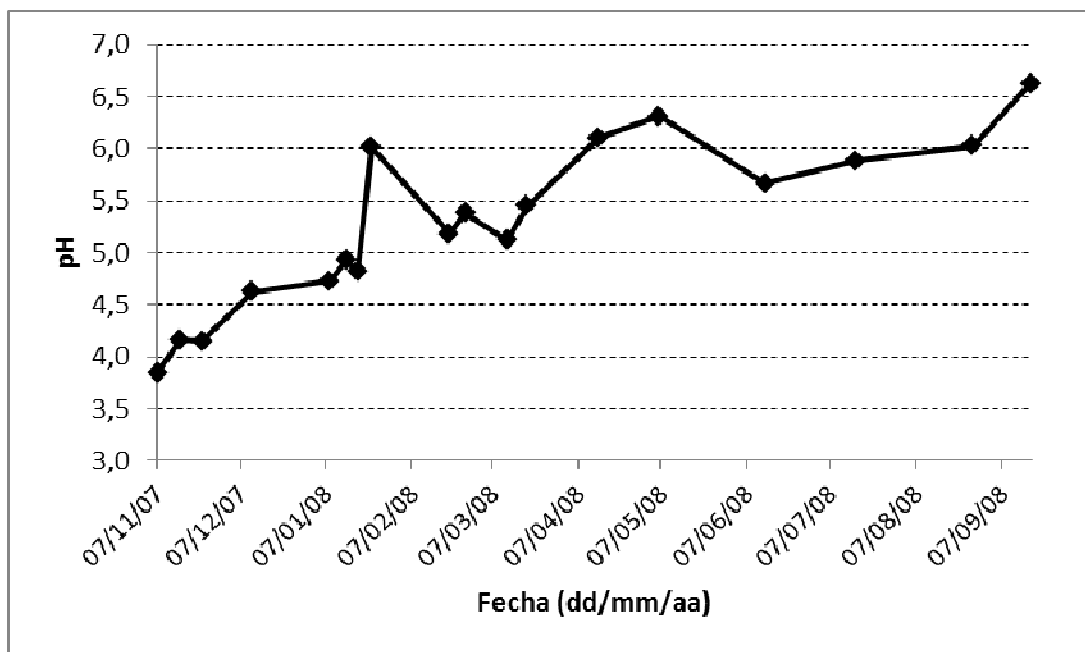
**CURVA DE CAPACIDAD HÍDRICA DEL SUSTRATO UTILIZADO EN LAS
MACETAS DEL ENSAYO**



Anexo 6. Curva de capacidad hídrica del sustrato utilizado en las macetas del ensayo. Punto de marchitez: 10 bares, capacidad de campo: 0,3 bares, agua útil: de 0,3 a 10 bares, agua rápidamente disponible: 0,3 a 1 bar. Agosto de 2009. Laboratorio de suelos y agua EEA San Juan INTA.

ANEXO 7

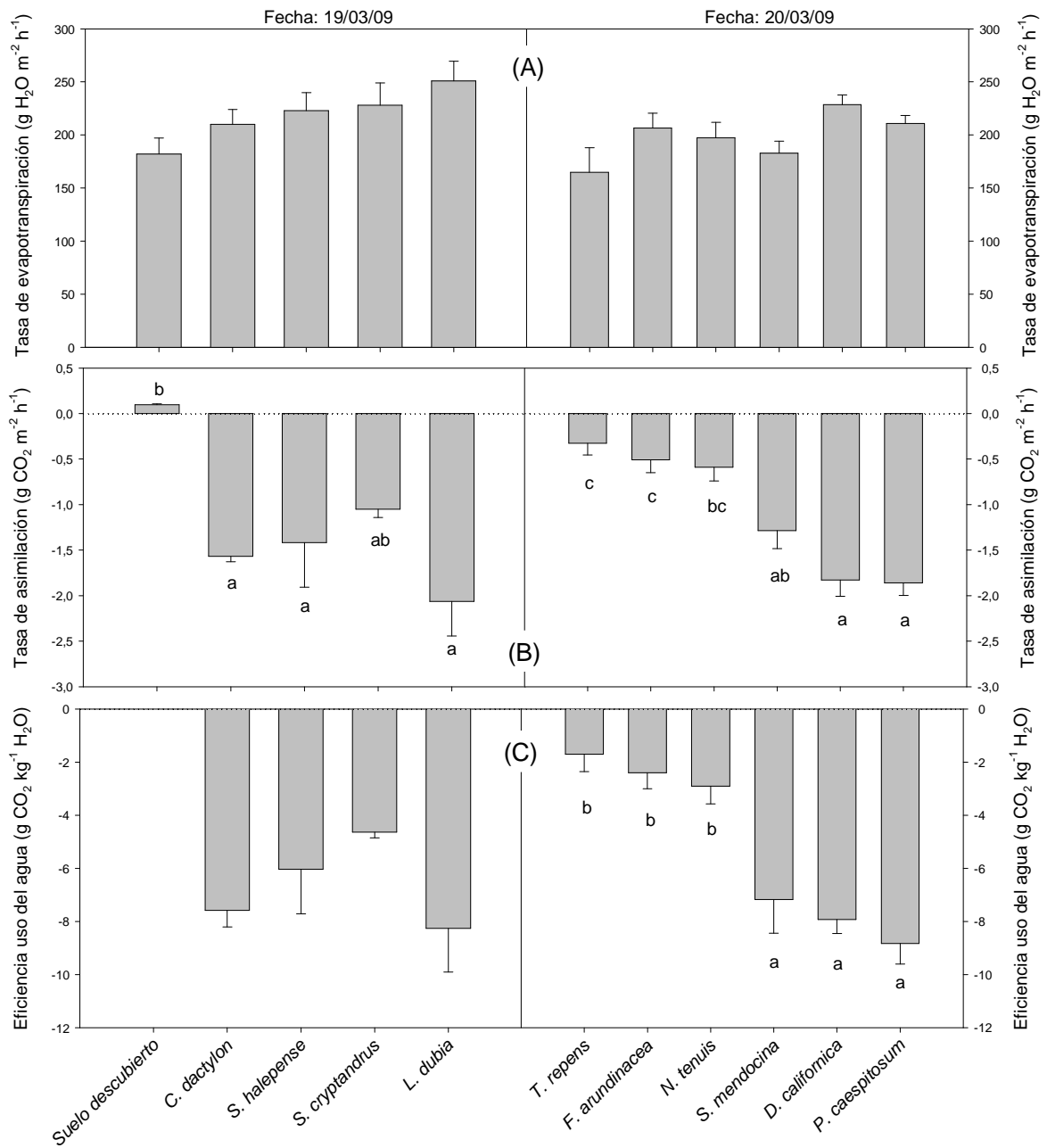
EVOLUCIÓN DEL pH EN EL SUSTRATO DE LAS MACETAS UTILIZADAS EN EL
ENSAYO



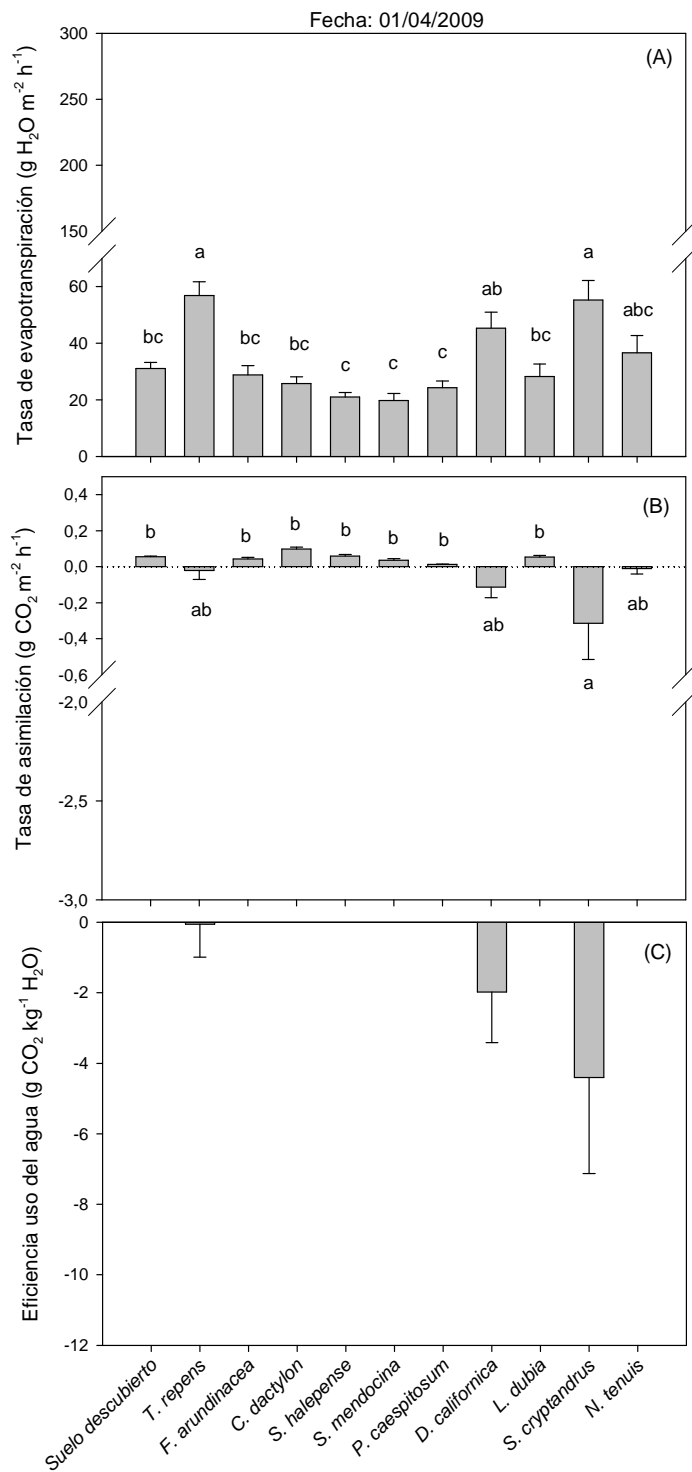
Anexo 7. Evolución del pH en el sustrato de las macetas utilizadas en el ensayo, luego de la corrección con hidróxido de calcio.

ANEXO 8

MEDICIONES DE INTERCAMBIO GASEOSO DURANTE LOS MESES DE MARZO
Y ABRIL DE 2009



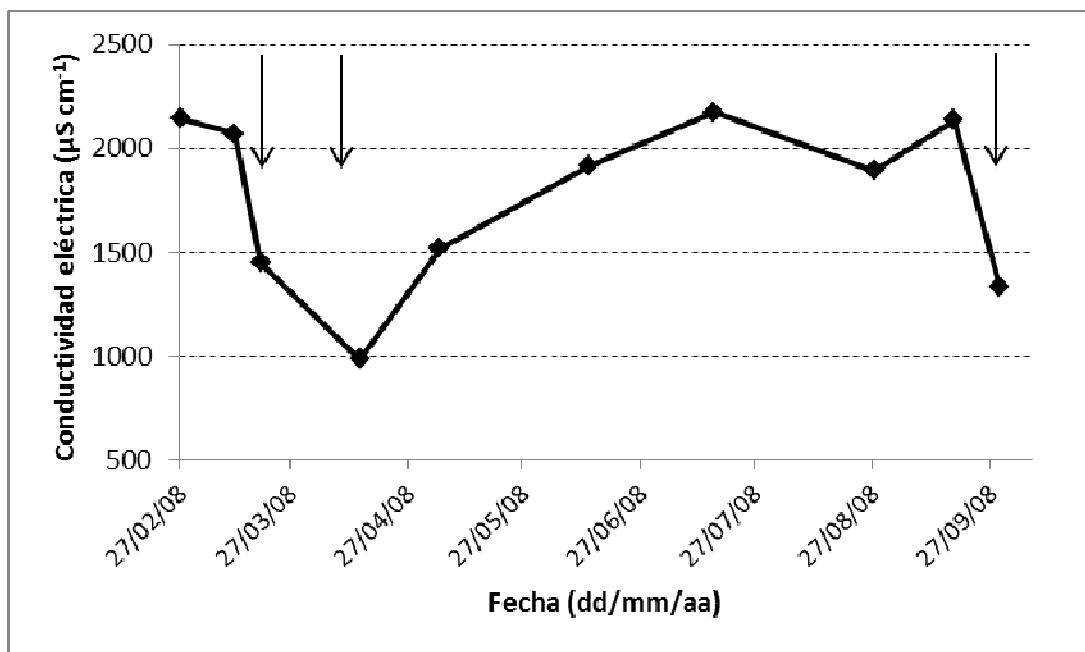
Anexo 8A. Tasas de evapotranspiración (A), asimilación de CO₂ (B) y eficiencia de uso del agua (C) para diferentes especies de cobertura vegetal durante el mes de marzo de 2009, en condiciones de alta disponibilidad hídrica (tres días después de un riego). Las mediciones fueron efectuadas entre las 11 y 15:30 hora local. Letras distintas, para cada fecha, indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=4$), mientras que las líneas verticales muestran el error estándar.



Anexo 8B. Tasas de evapotranspiración (A), asimilación de CO₂ (B) y eficiencia de uso del agua (C) para diferentes especies de cobertura vegetal durante el mes de abril de 2009, en condiciones de restricción hídrica (16 días después de un riego). Las mediciones fueron efectuadas entre las 10 y 16:30 hora local. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$), mientras que las líneas verticales muestran el error estándar.

ANEXO 9

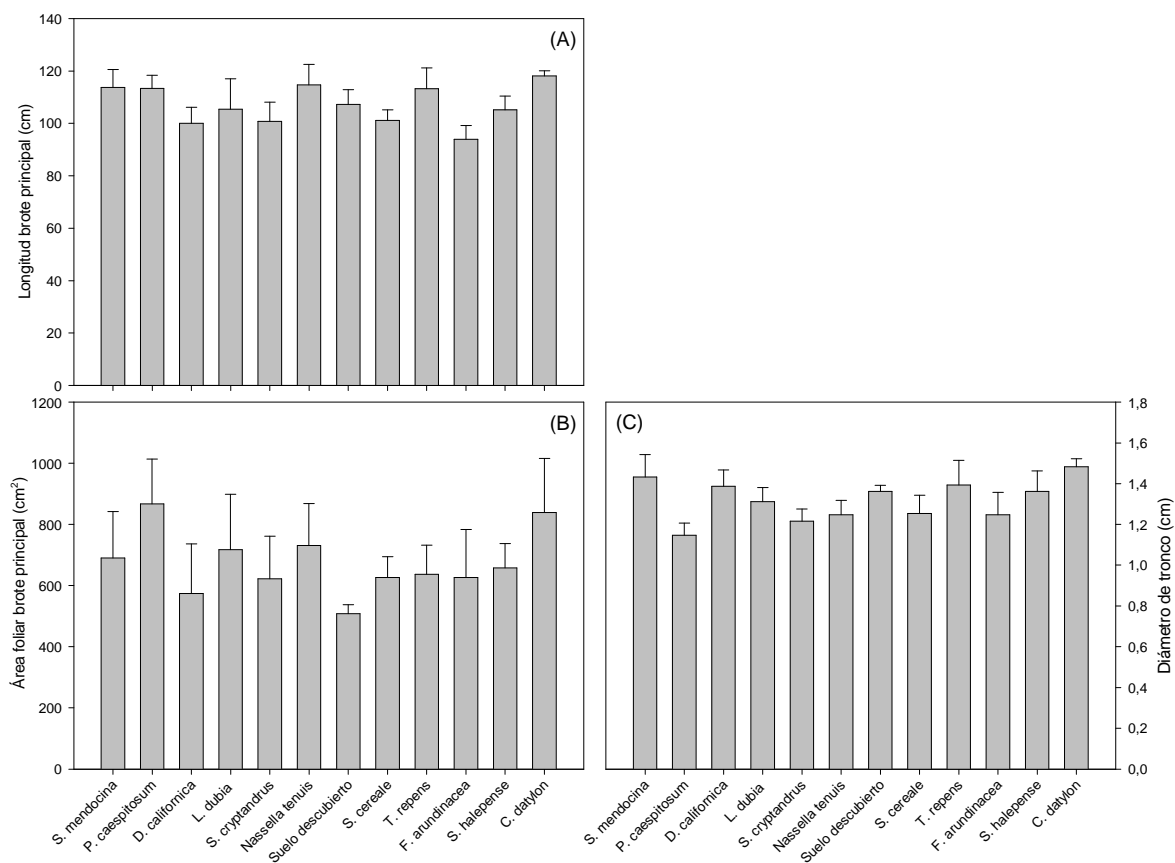
EVOLUCIÓN DE LA SALINIDAD EN LAS MACETAS CONTENIENDO LAS
PLANTAS DE VID



Anexo 9. Evolución de la salinidad en el agua de lixiviado de las macetas conteniendo las plantas de vid. Las flechas indican los momentos de lavado de sales.

ANEXO 10

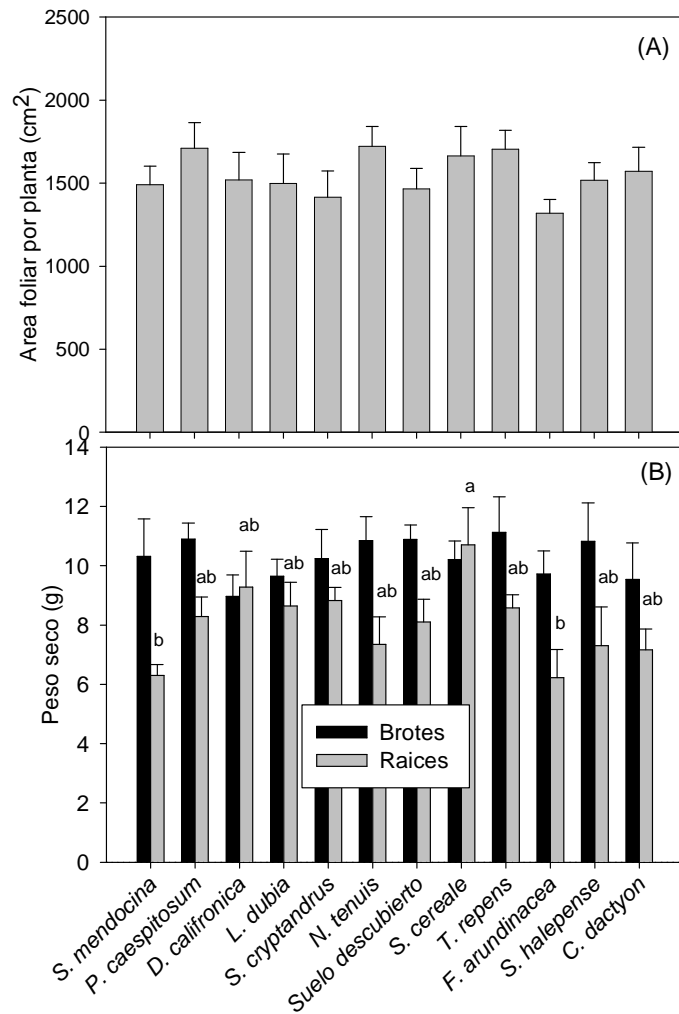
POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LOS LIXIVIADOS DE COBERTURAS
VEGETALES SOBRE PLANTAS JÓVENES DE VID CV. MALBEC CRECIENDO EN
MACETAS



Anexo 10. Potencial alelopático de los lixiviados de coberturas vegetales sobre plantas jóvenes de vid cv. Malbec creciendo en macetas. Longitud del brote principal (A), área foliar (B) y diámetro de tronco (C). Temporada 2008/09. Sin diferencias estadísticas significativas entre medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$). Las líneas verticales indican el error estándar.

ANEXO 11

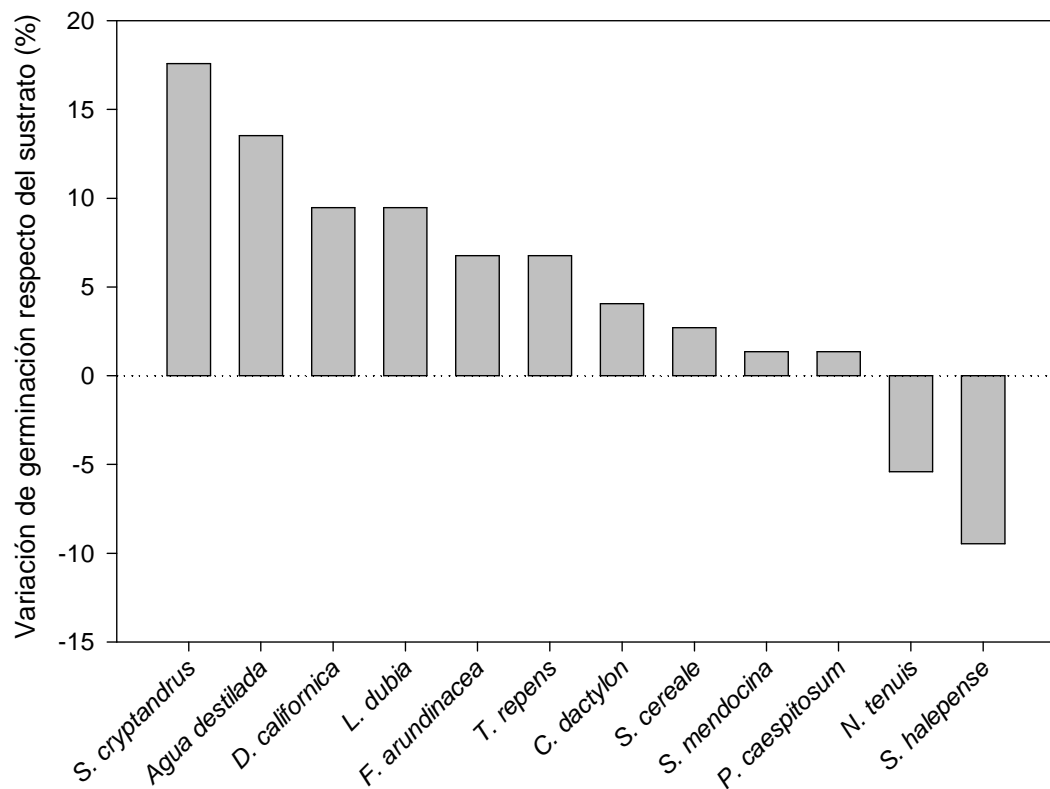
POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LIXIVIADOS DE COBERTURAS VEGETALES EN
ESTACAS DE VID CV. MALBEC BAJO INVERNADERO



Anexo 11. Potencial alelopático de lixiviados de coberturas vegetales en estacas de vid cv. Malbec bajo invernadero. Área foliar (A) y producción de materia seca (B), discriminada en brotes (barras negras) y raíces (barras grises). Julio de 2009. Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias (prueba de Tukey; $p \leq 0,05$; $n=5$), mientras que las barras verticales muestran el error estándar.

ANEXO 12

ENSAYO EXPLORATORIO PARA LA ELECCIÓN DE LOS LIXIVIADOS A
CONCENTRAR



Anexo 12. Ensayo exploratorio para la elección de los lixiviados a concentrar. Germinación de semillas de *Lactuca sativa* cv. Rapidimor clara. Prueba efectuada en cámara de germinación utilizando una muestra compuesta (sub-muestras de lixiviado de cada repetición) de cada tratamiento. Valores obtenidos luego de cinco días de incubación. Enero de 2009.