



*Universidad Nacional de Córdoba*  
*Facultad de Ciencias Agropecuarias*  
*Escuela para Graduados*

---



**COBERTURAS VEGETALES EN VIÑEDOS BAJO  
RIEGO LOCALIZADO, RESPUESTA FISIOLÓGICA  
DE ESPECIES HERBÁCEAS NATIVAS A  
DIFERENTES AMBIENTES**

**Florencia N. Ferrari**

Tesis

Para optar al Grado Académico de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias

*Córdoba, 2015*

# **COBERTURAS VEGETALES EN VIÑEDOS BAJO RIEGO LOCALIZADO, RESPUESTA FISIOLÓGICA DE ESPECIES HERBÁCEAS NATIVAS A DIFERENTES AMBIENTES**

**Florencia N. Ferrari**

## **Comisión Asesora de Tesis**

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

**Asesores:** Ing. Agr. (Dr.) Carlos Bernardo Passera  
Ing. Agr. (Dr.) Héctor Abel Altube

## **Tribunal Examinador de Tesis**

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

Ing. Agr. (Ph.D.) Enrique E. Sánchez .....

Ing. Agr. (Dr.) Héctor Abel Altube .....

## **Presentación formal académica**

20 de Agosto de 2015

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de Córdoba

## AGRADECIMIENTOS

El desarrollo del presente trabajo de tesis fue posible debido al financiamiento recibido mediante las Becas de Posgrado tipo I y II otorgadas por el CONICET en los años 2010 y 2013 respectivamente.

Para las autoridades del INTA, EEA Mendoza por su colaboración con la infraestructura, materiales, préstamo y compra de equipamiento, necesarios para llevar a cabo los ensayos y el desarrollo de la tesis escrita.

Para Martin Uliarte por su constante colaboración en el desarrollo del proyecto, desde sus etapas iniciales hasta la concreción del presente trabajo escrito.

Para Alejandro Ambrogetti y Ariel Porro, por su valorable colaboración en el desarrollo y construcción de la cámara de intercambio gaseoso utilizada durante las determinaciones de balance de carbono y consumo hídrico anual.

Para Marcos Bonada por su ayuda en la escritura en inglés de trabajos científicos publicados en revistas y congresos, y en la corrección del *abstract* del presente trabajo de tesis.

Para Pedro Diaz, Marcos Montoya, Ariel Porro, Noelia, Darío, Patricia, Regina por su colaboración en las determinaciones realizadas a diario.

Para los Ingenieros Gustavo Soto, Martín Ariza y Darío Dalla Torre por permitirme realizar las determinaciones necesarias en las fincas donde desarrollan sus actividades laborales y poder completar el Capítulo 2 del presente trabajo de investigación.

# **DEDICATORIA**

A AGUSTÍN, POR SU AMOR, PACIENCIA Y COMPAÑÍA

A MI FAMILIA, POR SU APOYO INCONDICIONAL

## RESUMEN

En Mendoza, Argentina es imprescindible regar los cultivos debido a las escasas precipitaciones y a la elevada evapotranspiración. El uso de coberturas vegetales es una herramienta sostenible con múltiples beneficios como conservar la estructura del suelo, mejorar la infiltración, controlar la erosión, incorporar materia orgánica, entre otros. Las especies nativas de ambientes áridos, adaptadas a la baja disponibilidad hídrica, presentan ventajas sobre las exóticas de elevado consumo hídrico para establecerse como cobertura vegetal en interfilares de viñedos con riego localizado; a pesar de ello, localmente no existen investigaciones al respecto ni disponibilidad comercial de semillas. El objetivo del estudio fue evaluar seis especies herbáceas nativas predominantes en tres zonas vitícolas (*Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Nassella tenuis*, *Pappophorum phillippianum*, *Setaria leucopila* y *Sporobolus cryptandrus*) y seleccionar las más aptas para su uso como cobertura vegetal en viñedos con riego localizado. Para ello, (i) se caracterizó el comportamiento fisiológico de seis especies herbáceas nativas espontáneas en tres viñedos con riego por goteo; (ii) se describió la respuesta de su fotosíntesis a la concentración de CO<sub>2</sub>, la radiación fotosintéticamente activa, la temperatura y el contenido de agua en el suelo de las macetas; (iii) se contabilizó su balance de carbono y consumo hídrico anual cuando crecieron en el interfilare de un viñedo con riego por goteo, para lo cual se desarrolló, evaluó y utilizó una cámara de intercambio gaseoso para canopia entera; y finalmente, (iv) se reconocieron sus condiciones óptimas de germinación. En base a los resultados obtenidos, todas las especies evaluadas poseen potencial para ser utilizadas como coberturas vegetales en cultivos bajo riego localizado; aunque *D. californica*, *N. tenuis* y *P. phillippianum* presentarían ventajas sobre las demás especies (elevada producción de biomasa, germinación, cobertura de suelo, ciclo en contra-estación, plantas bajas, etc.). (i) En cada sitio evaluado existe una cobertura vegetal espontánea adaptada a las condiciones climáticas, edáficas y de manejo. Las especies evaluadas son adecuadas para su uso como cobertura vegetal en viñedos con riego localizado. (ii) En general, las especies del tipo C<sub>4</sub> se verían más beneficiadas ante un futuro escenario de cambio climático con temperaturas más elevadas y menor disponibilidad de agua para riego que la especie C<sub>3</sub> (*N. tenuis*); aunque esta última tendría ventajas sobre las C<sub>4</sub> cuanto mayor sea la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. (iii) La cobertura vegetal (nativa o espontánea) registró un balance de carbono de 2,94 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> en promedio, mientras que el suelo descubierto liberó 0,27 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>. La cobertura vegetal compuesta por especies nativas consumió 2,6 veces más de agua (evapotranspiración anual) que el suelo descubierto (evaporación anual); y una cobertura espontánea (compuesta en su mayoría por especies exóticas) consumió 3,8 veces más agua que el suelo descubierto. (iv) El porcentaje de germinación máximo para cada especie fue de: 98% para *D. californica* (en cualquiera de las condiciones de luz y temperatura ensayadas), 68% para *P. phillippianum* (con 35°C y luz), 66% para *L. dubia* (con >30°C y oscuridad permanente), 60% para *S. cryptandrus* (con semillas escarificadas y con temperaturas entre 20 y 35°C), 50% para *N. tenuis* (con 25°C y luz) y 21% para *S. leucopila* (con semillas escarificadas, bajo cualquiera de las condiciones evaluadas).

Palabras clave: cobertura vegetal, viñedo, especies nativas, intercambio gaseoso, riego localizado.

## ABSTRACT

In water-scarce areas with high evaporative demand of the environment, such as Mendoza province in Argentina, it is essential to irrigate crops. The use of cover crops is a sustainable tool for maintaining soil structure, improving infiltration, controlling soil erosion, adding organic matter, among others benefits. Native species from arid environments are economically and environmentally superior over the exotic ones as they are adapted to low water availability conditions, as in drip irrigated vineyards; nevertheless, there is no investigation or commercially available seeds locally. The aim of this study was to evaluate six dominant native grasses in three wine-regions (*Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Nassella tenuis*, *Pappophorum phillippianum*, *Setaria leucopila* and *Sporobolus cryptandrus*) and select the most suitable species for use as cover crops in drip irrigated vineyards. For this, (i) it was characterized the physiological behavior of six spontaneous native grass in field growing conditions (inter-row of a drip irrigated vineyard); (ii) it was described photosynthesis response to CO<sub>2</sub> concentration, photosynthetically active radiation, temperature, soil water content growing in pots; (iii) it was recorded their carbon balance and annual water consumption growing in a drip irrigated vineyard inter-row; and finally, (iv) it was recognized the optimal conditions for germination of each species. Based on the results, the evaluated species could be used as cover crop in drip irrigated vineyards. But, *D. californica*, *N. tenuis* y *P. phillippianum* have advantages over other species (high biomass production, high germination, high soil coverage, opposite season cycle, lower plants, etc.). (i) In the evaluated sites had a spontaneous cover crop adapted to climb, soil and management. Species assessed are adequate to use as cover crop in drip irrigated vineyards. (ii) Mostly, C<sub>4</sub> species would be benefit in a future climate change scenario with higher temperatures and lower availability of water for irrigation than C<sub>3</sub> species (*N. tenuis*); although, C<sub>3</sub> would have advantages with higher atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. (iii) The cover crop (native or spontaneous) recorded a carbon balance of 2.94 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> on average, while bare soil lost 0.27 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>. The cover crop with native species consumed 2.6 times more water (from annual evapotranspiration) than bare soil (from annual evaporation); and a spontaneous cover crop (mostly composed by exotic species) consumed 3.8 times more water than bare soil. (iv) The maximum percentage of germination was: 98% for *D. californica* (in any evaluated temperature and light condition), 68% for *P. phillippianum* (with 35°C and light), 66% for *L. dubia* (with > 30°C and permanent darkness), 60% for *S. cryptandrus* (with scarified seeds and temperatures between 20 – 35°C), 50% for *N. tenuis* (with 25°C and light), and 21% for *S. leucopila* (with scarified seeds and any evaluated condition).

Key words: cover crop, vineyard, native species, gas exchange, drip irrigation.

## TABLA DE CONTENIDOS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>   | <b>1</b>  |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 2. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE ESPECIES NATIVAS ESPONTÁNEAS EN VIÑEDOS CON RIEGO LOCALIZADO.....</b> | <b>9</b>  |
| <b>Introducción.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Materiales y métodos.....</b>   | <b>10</b> |
| Parcelas experimentales.....   | 10        |
| Caracterización edáfica y climática.....   | 11        |
| Cobertura de suelo.....  | 13        |
| Intercambio gaseoso.....   | 13        |
| Análisis estadístico.....  | 15        |
| <b>Resultados.....</b>   | <b>15</b> |
| Caracterización edáfica y climática.....   | 15        |
| Cobertura de suelo.....  | 18        |
| Intercambio gaseoso.....   | 20        |
| <b>Discusión.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>   | <b>31</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 3. RESPUESTA DE LA FOTOSÍNTESIS AL CAMBIO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....</b>                      | <b>34</b> |
| <b>Introducción.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>Materiales y métodos.....</b>   | <b>37</b> |
| Material vegetal.....  | 37        |
| Implementación y manejo.....   | 37        |
| Producción de biomasa y desarrollo fenológico.....   | 38        |
| Curvas de respuesta de la fotosíntesis frente a diferentes condiciones ambientales.....                            | 39        |
| Respuesta de la fotosíntesis a la concentración de CO <sub>2</sub> .....   | 39        |
| Respuesta de la fotosíntesis a la radiación fotosintéticamente activa.....   | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| Respuesta de la fotosíntesis a la temperatura.....  | 42        |
| Respuesta de la fotosíntesis al contenido relativo de agua en el suelo.....                               | 42        |
| Análisis estadístico.....   | 43        |
| <b>Resultados.....</b>  | <b>43</b> |
| Producción de biomasa y desarrollo fenológico.....  | 43        |
| Respuesta de la fotosíntesis a la concentración de CO <sub>2</sub> .....                                  | 45        |
| Respuesta de la fotosíntesis a la radiación fotosintéticamente activa.....                                | 48        |
| Respuesta de la fotosíntesis a la temperatura.....  | 50        |
| Respuesta de la fotosíntesis al contenido relativo de agua en el suelo.....                               | 53        |
| <b>Discusión.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>62</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 4. CÁMARA ABIERTA DE INTERCAMBIO GASEOSO PARA PLANTA ENTERA: DESARROLLO Y EVALUACIÓN.....</b> | <b>65</b> |
| <b>Introducción.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>Materiales y métodos.....</b>  | <b>68</b> |
| Diseño y operación de la cámara.....  | 68        |
| Evaluación de la evaporación.....   | 70        |
| Efecto del caudal de aire sobre el <i>IC</i> y la <i>E</i> de una cobertura vegetal.....                  | 71        |
| Intercambio gaseoso de una cobertura vegetal con un caudal de aire seleccionado.....                      | 72        |
| Análisis estadístico.....   | 72        |
| <b>Resultados.....</b>  | <b>72</b> |
| Evaluación de la evaporación.....   | 72        |
| Efecto del caudal de aire sobre el <i>IC</i> y la <i>E</i> de una cobertura vegetal.....                  | 73        |
| Intercambio gaseoso de una cobertura vegetal con un caudal de aire seleccionado.....                      | 74        |
| <b>Discusión.....</b>   | <b>76</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>79</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 5. BALANCE DE CARBONO DE COBERTURAS VEGETALES EN UN VIÑEDO BAJO RIEGO LOCALIZADO</b>          | <b>81</b> |
| <b>Introducción.....</b>  | <b>81</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Materiales y métodos</b> .....  | <b>83</b>  |
| Parcela experimental.....  | 83         |
| Análisis de suelo.....   | 83         |
| Desarrollo fenológico.....   | 85         |
| Porcentaje de cobertura.....   | 85         |
| Producción de biomasa.....   | 86         |
| Intercambio gaseoso diario y anual.....                                  | 86         |
| Análisis estadístico.....  | 88         |
| <b>Resultados</b> .....  | <b>89</b>  |
| Análisis de suelo.....   | 89         |
| Desarrollo fenológico.....   | 90         |
| Porcentaje de cobertura.....   | 91         |
| Producción de biomasa.....   | 92         |
| Intercambio gaseoso diario y anual.....                                  | 95         |
| <b>Discusión</b> .....   | <b>100</b> |
| <b>Conclusiones</b> .....  | <b>106</b> |
| <br>   |            |
| <b>CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y PESO DE SEMILLAS</b> ..... | <b>110</b> |
| <b>Introducción</b> .....  | <b>110</b> |
| <b>Materiales y métodos</b> .....  | <b>112</b> |
| Germinación.....   | 112        |
| Peso de 1000 semillas.....   | 113        |
| Análisis estadístico.....  | 113        |
| <b>Resultados</b> .....  | <b>114</b> |
| Germinación.....   | 114        |
| Peso de 1000 semillas.....   | 118        |
| <b>Discusión</b> .....   | <b>119</b> |
| <b>Conclusiones</b> .....  | <b>122</b> |
| <br>   |            |
| <b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....                          | <b>124</b> |
| <br>   |            |
| <b>CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                    | <b>131</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ANEXO 1</b>   |            |
| <b>COBERTURA VEGETAL ESPONTÁNEA EN VIÑEDOS BAJO RIEGO LOCALIZADO.....</b>  | <b>142</b> |
| <br>   |            |
| <b>ANEXO 2</b>   |            |
| <b>ESTABLECIMIENTO DE COBERTURAS VEGETALES EN UN VIÑEDO UBICADO EN INTA, EEA MENDOZA.....</b>  | <b>146</b> |
| <br>   |            |
| <b>ANEXO 3</b>   |            |
| <b>CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO A DISTINTAS PROFUNDIDADES Y DISTANCIAS DESDE LA LÍNEA DE PLANTACIÓN EN LA PARCELA UBICADA EN INTA, EEA MENDOZA.....</b> | <b>150</b> |
| <br>   |            |
| <b>ANEXO 4</b>   |            |
| <b>CONTROL DE CAUDAL DE AGUA EROGADO POR LOS GOTEROS A LO LARGO DE UNA LÍNEA DE RIEGO EN LA PARCELA UBICADA EN INTA, EEA MENDOZA.....</b>              | <b>154</b> |
| <br>   |            |
| <b>ANEXO 5</b>   |            |
| <b>PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO (BORDO E INTERFILAR) EN LA PARCELA UBICADA EN INTA, EEA MENDOZA.....</b>                           | <b>157</b> |

## LISTA DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 2.1. Ubicación de los sitios de observación y de las estaciones meteorológicas cercanas a ellos.  | 12   |
| Tabla 2.2. Características de las especies nativas evaluadas en los sitios de observación.  | 14   |
| Tabla 2.3. Resultados del análisis de suelo en cada sitio de observación. Muestras compuestas, tomadas de 0 a 30 cm en el mes de noviembre de 2010.   | 16   |
| Tabla 2.4. Temperaturas ( $T$ ) máximas, mínimas y medias, y precipitación anual para cada sitio de observación.  | 17   |
| Tabla 2.5. Resultados del análisis de la varianza para la transpiración neta ( $TN$ ), la fotosíntesis neta ( $PN$ ) y la eficiencia de uso de agua ( $EUA$ ) en cada sitio de observación.   | 21   |
| Tabla 2.6. Resultados del análisis de correlación (valor del coeficiente de Pearson y nivel de significancia) entre el contenido hídrico del suelo y la fotosíntesis neta ( $PN$ ) y la transpiración neta ( $TN$ ), según el sitio de observación y la época de medición.                | 24   |
| Tabla 2.7. Resultados del análisis de la varianza del contenido hídrico del suelo.  | 25   |
| Tabla 3.1. Caracterización físico-química del suelo utilizado como sustrato en las macetas.   | 37   |
| Tabla 3.2. Escenarios de cambio climático (B1, B2, A1 y A2) y cambios en la concentración atmosférica de $CO_2$ ( $C_{atm}$ ) e incrementos en la temperatura ( $T$ ) previstos para el año 2080.   | 40   |
| Tabla 3.3. Respiración mitocondrial aparente ( $R_D$ ) cuando la concentración intercelular de $CO_2$ ( $C_{ic}$ ) = 0. Punto de compensación de $C_{ic}$ cuando $PN = 0$ ( $PCC$ ). Fotosíntesis máxima ( $PN_{max}$ ) y $C_{ic}$ con la cual se alcanza dicho valor ( $C_{ic_{max}}$ ). | 47   |
| Tabla 3.4. Estimación del aumento de $PN$ con respecto a $C_{atm} = 380$ ppm en los escenarios B1 ( $C_{ic} = 372$ ppm) y A2 ( $C_{ic} = 505$ ppm) previstos para el año 2080.  | 48   |
| Tabla 3.5. Parámetros de los modelos de respuesta de la fotosíntesis neta en función de la radiación fotosintéticamente activa.   | 50   |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 3.6. Fotosíntesis neta ( <i>PN</i> ) estimada y su porcentaje de modificación para cada especie y tipo de especie estimada (en función de las respectivas regresiones cuadráticas) con la temperatura actual <sup>1</sup> y el aumento de temperatura estimado para el año 2080 en los escenarios de cambio climático leve B1 (+1,2°C) y alto A2 (+3,9°C). | 53  |
| Tabla 3.7. Regresión de la fotosíntesis neta ( <i>PN</i> ), la transpiración neta ( <i>TN</i> ) y la conductancia estomática ( <i>gs</i> ) en función del contenido relativo de agua en el suelo para cada especie, proporción de ajuste ( $R^2$ ) y nivel de significancia.   | 54  |
| Tabla 5.1. Caracterización físico-química del suelo en los interfilares del viñedo ubicado en el INTA, EEA Mendoza, abril de 2011.   | 84  |
| Tabla 5.2. Resultados del análisis de suelo, análisis de la varianza en función del tratamiento y del año de muestreo.   | 90  |
| Tabla 5.3. Resultados del análisis de suelo, comparación estadística de los valores inicial (2011) y final (2013).   | 90  |
| Tabla 5.4. Evaporación del suelo ( <i>ES</i> ), respiración de suelo ( <i>RS</i> ) y temperatura de suelo ( <i>TS</i> ) determinadas mediante la cámara cerrada de intercambio gaseoso SRC-1 (PP Systems) para cada época de medición $\pm$ DE.  | 98  |
| Tabla 6.1. Resultados del ANAVA del porcentaje de germinación de cada especie.   | 115 |
| Tabla 6.2. Índice de germinación relativo a la luz (GRL) para cada especie y su clasificación correspondiente.   | 115 |
| Tabla 6.3. Resultados del ANAVA del porcentaje de germinación (PG) de tres especies en función de la temperatura ( <i>T</i> ) y particionado por la condición de luminosidad.  | 116 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Fig. 2.1. Temperaturas máximas (TM, líneas negras) y mínimas (Tm, líneas grises), y precipitación (Pp, barras) mensual en cada sitio de observación.  | 17   |
| Fig. 2.2. Porcentaje de cobertura de suelo (con vegetales, rastrojo, piedra o suelo descubierto) en cada sitio de observación. Valores promedio correspondientes a diciembre 2010, mayo 2012 y octubre 2012.  | 18   |
| Fig. 2.3. Porcentaje de cobertura vegetal compuesta por cada tipo de especie (estatus, hábito, clase) y para cada sitio de observación. Valores promedio correspondientes a diciembre 2010 y octubre 2012.  | 19   |
| Fig. 2.4. Porcentaje de cobertura vegetal compuesta por las especies predominantes (>10%) en cada uno de los sitios de observación. Valores promedio correspondientes a diciembre 2010 y octubre 2012.  | 20   |
| Fig. 2.5. Fotosíntesis neta (PN), transpiración neta (TN) y eficiencia de uso de agua (EUA) para cada época de medición y en cada sitio de observación. Valores promedio + DE; $n = 10$ en primavera y $n = 20$ en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Test LSD, $\alpha 0,05$ ).   | 22   |
| Fig. 2.6. Fotosíntesis neta (PN), transpiración neta (TN) y eficiencia de uso de agua (EUA) para cada especie evaluada por época de medición en Finca Salentein. Valores promedio + DE; $n = 10$ en primavera y $n = 20$ en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre especies para cada época de medición (Test LSD, $\alpha 0,05$ ). | 23   |
| Fig. 2.7. Contenido hídrico del suelo en los sitios de observación para cada época de medición; valores promedio + DE; $n = 3$ en primavera y $n = 6$ en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre sitios para cada época de medición (Test LSD, $\alpha 0,05$ ).  | 25   |
| Fig. 2.8. Fotosíntesis neta (PN) y transpiración neta (TN) de <i>P. phillippianum</i> en cada sitio de observación para cada época de medición; valores promedio + DE; $n = 10$ en primavera y $n = 20$ en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre especies para cada época de medición (Test LSD, $\alpha 0,05$ ).                  | 26   |

- Fig. 2.9. Fotosíntesis neta (*PN*) y transpiración neta (*TN*) de *D. californica* en cada sitio de observación para cada época de medición; valores promedio + DE;  $n = 10$  en primavera y  $n = 20$  en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre especies para cada época de medición (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ). 27
- Fig. 3.1. Producción de materia seca (*MS*) de las especies nativas creciendo en macetas durante cada ciclo de crecimiento. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para cada ciclo (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ). 44
- Fig. 3.2. Etapas del desarrollo fenológico (senescencia, vegetativa, espigazón y dispersión de frutos) de las especies  $C_4$  (*D. californica*, *P. phillippianum*, *S. cryptandrus*, *L. dubia* y *S. leucopila*) y  $C_3$  (*N. tenuis*). Promedio de dos ciclos de crecimiento (2011/12 y 2012/13). 45
- Fig. 3.3. Respuesta promedio de la fotosíntesis neta (*PN*) al cambio de la concentración intercelular de  $CO_2$  (*Cic*) para cada especie. 46
- Fig. 3.4. Respuesta promedio de la fotosíntesis neta (*PN*) al cambio de la concentración intercelular de  $CO_2$  (*Cic*) para cada tipo de especie ( $C_4$ : *D. californica*, *L. dubia*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*;  $C_3$ : *N. tenuis*). 46
- Fig. 3.5. Modelo promedio de respuesta de la fotosíntesis neta (*PN*) al cambio de la radiación fotosintéticamente activa (*RFA*) para cada especie. 49
- Fig. 3.6. Modelo promedio de respuesta de la fotosíntesis neta (*PN*) al cambio de la radiación fotosintéticamente activa (*RFA*) para cada tipo de especie ( $C_4$ : *D. californica*, *L. dubia*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*;  $C_3$ : *N. tenuis*). 49
- Fig. 3.7. Modelo promedio de respuesta (en función de la regresión cuadrática) de la fotosíntesis neta (*PN*) al cambio de la temperatura de la hoja (*TH*) para cada especie. 51
- Fig. 3.8. Modelo promedio de respuesta (en función de la regresión cuadrática) de la fotosíntesis neta (*PN*) al cambio de la temperatura de la hoja (*TH*) para cada tipo de especie ( $C_4$ : *D. californica*, *L. dubia*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*;  $C_3$ : *N. tenuis*). 52
- Fig. 3.9. Respuesta promedio de la fotosíntesis neta (*PN*), la transpiración neta (*TN*) y la conductancia estomática (*gs*) al contenido relativo de agua del suelo (*CRAS*) para cada especie; valores medios  $\pm$  DE;  $n = 6$ . 55
- Fig. 3.10. Regresiones lineales ( $C_4$ ) y cuadrática ( $C_3$ ) de la fotosíntesis neta (*PN*) en función del contenido relativo de agua del suelo (*CRAS*) para cada especie. 56

|  |    |
|--|----|
| Fig. 3.11. Regresiones lineales ( $C_4$ ) y cuadrática ( $C_3$ ) de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) en función del contenido relativo de agua del suelo ( $CRAS$ ) para cada tipo de especie ( $C_4$ : <i>D. californica</i> , <i>L. dubia</i> , <i>P. phillippianum</i> , <i>S. leucopila</i> y <i>S. cryptandrus</i> ; $C_3$ : <i>N. tenuis</i> ). | 57 |
| Fig. 4.1. Esquema del prototipo de la cámara de intercambio gaseoso con sistema abierto.   | 69 |
| Fig. 4.2. A. Evaporación dentro de la cámara determinada mediante el método gravimétrico ( $G_i$ ) y el método de la cámara ( $C_i$ ), y fuera de la cámara determinada mediante el método gravimétrico ( $G_e$ ). B. Relaciones $C_i/G_i$ y $C_i/G_e$ . Regresiones lineales y variables graficadas en función del caudal de aire ( $Q$ ).        | 73 |
| Fig. 4.3. A. Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) y diferencia del déficit de presión de vapor ( $\Delta DPV$ ) dentro y fuera de la cámara. B. Intercambio de $CO_2$ ( $IC$ ) y evapotranspiración ( $E$ ) de una cobertura vegetal ( $n = 4$ ). Regresiones lineales y variables graficadas en función del caudal de aire ( $Q$ ).           | 74 |
| Fig. 4.4. Evolución a través del tiempo de: A. la temperatura ( $T$ ) y la radiación fotosintéticamente activa ( $RFA$ ) dentro y fuera de la cámara; B. el intercambio de $CO_2$ ( $IC$ ) y la evapotranspiración ( $E$ ) de la cobertura vegetal $\pm$ DE.   | 75 |
| Fig. 5.1. Etapas del desarrollo fenológico (senescencia, vegetativa, espigazón y dispersión de frutos) de las especies $C_4$ ( <i>D. californica</i> , <i>P. phillippianum</i> y <i>S. leucopila</i> ) y $C_3$ ( <i>N. tenuis</i> ). Promedio de dos ciclos de crecimiento (2011/12 y 2012/13).  | 91 |
| Fig. 5.2. Porcentaje de aumento de cobertura verde del suelo ( $\Delta PC$ ) para cada tratamiento + DE. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Test LSD, $\alpha$ 0,05).   | 92 |
| Fig. 5.3. Producción de materia seca (MS) y materia fresca (MF) de cada tratamiento (A) y cada ciclo de medición (B); valores medios + DE. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y entre ciclos para cada variable graficada (Test LSD, $\alpha$ 0,05).  | 93 |
| Fig. 5.4. Contenido de agua en las hojas o la masa vegetal segada ( $CHH$ ) para cada tratamiento en cada ciclo de medición; valores medios + DE. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada ciclo de medición (Test LSD, $\alpha$ 0,05).  | 94 |
| Fig. 5.5. Altura máxima de las plantas (AM) para cada tratamiento (A) y cada ciclo de medición (B); valores medios + DE. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y entre ciclos (Test LSD, $\alpha$ 0,05).  | 95 |

- Fig. 5.6. Porcentaje de cobertura de suelo (*PC*), intercambio de carbono (*IC*), 96  
 evapotranspiración (*E*) y eficiencia en el uso de agua (*EUA*) para cada tratamiento  
 en los diferentes momentos de medición (tratamiento con suelo descubierto solo se  
 presentan *IC* y *E*).
- Fig. 5.7. Aproximación al balance anual de  $\text{CO}_2$  y al consumo hídrico anual 97  
 absoluto (original) y relativo (dividido por el porcentaje de cobertura) para cada  
 tratamiento. Letras distintas indican diferencias significativas entre columnas del  
 mismo color (Test LSD,  $\alpha$  0,05).
- Fig. 5.8. Temperatura media del suelo (*TS*, cuadrados negros)  $\pm$  DE, respiración de 99  
 suelo total (*RS*, círculos blancos)  $\pm$  DE, y respiración basal (*Rb*, círculos grises)  
 calculada como la resta entre *RS* y la *RS* del suelo descubierto. Valores promedio  
 para cada tratamiento en función de los momentos de medición.
- Fig. 6.1. Respuesta del porcentaje de germinación (*PG*) a la temperatura en 117  
 condiciones de luz (blanco) y oscuridad permanente (negro) para cada especie; y  
 regresiones lineares y cuadráticas significativas.
- Fig. 6.2. Tiempo medio de germinación (*TMG*) en función de la temperatura para 118  
 las especies  $\text{C}_4$  y  $\text{C}_3$ . Regresiones lineares significativas graficadas para la especie  
 $\text{C}_3$  (línea continua) y las especies  $\text{C}_4$  (línea punteada).

## LISTA DE ABREVIATURAS Y/O SÍMBOLOS

|                  |   |
|------------------|---|
| ~                | Aproximadamente   |
| *                | diferencia significativa ( $p < 0,05$ )   |
| **               | diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )   |
| ***              | diferencia altamente significativa ( $p < 0,001$ )  |
| °C               | grados Celsius  |
| %                | Porcentaje  |
| $\alpha$         | nivel de significancia  |
| A                | superficie de la cámara de intercambio gaseoso  |
| A1; A2           | escenarios de cambio climático más graves   |
| AM               | altura máxima de plantas  |
| ANAVA            | análisis de la varianza   |
| $\beta$          | rendimiento cuántico aparente o pendiente inicial de la curva <i>PN</i> versus <i>RFA</i>                                 |
| B1; B2           | escenarios de cambio climático más leves  |
| C                | Carbono   |
| C <sub>3</sub>   | ruta fotosintética, el primer producto de la fijación de CO <sub>2</sub> es un intermedia-rio de tres átomos de carbono   |
| C <sub>4</sub>   | ruta fotosintética, el primer producto de la fijación de CO <sub>2</sub> es un intermedia-rio de cuatro átomos de carbono |
| Ca <sup>+2</sup> | catión calcio   |
| <i>Catm</i>      | concentración de CO <sub>2</sub> atmosférica actual   |
| CC               | capacidad de campo (respecto al contenido hídrico del suelo)  |
| CE               | conductividad eléctrica   |
| CEes             | conductividad eléctrica del extracto de saturación  |
| <i>cf.</i>       | Consultar   |
| <i>CHH</i>       | contenido hídrico relativo en las hojas o la masa vegetal segada  |
| <i>CHS</i>       | contenido hídrico del suelo   |
| <i>Ci</i>        | evaporación interior determinada mediante la cámara de intercambio gaseoso  |

|                |   |
|----------------|---|
| $C_{ic}$       | concentración intercelular de $CO_2$  |
| $C_{ic_{max}}$ | concentración intercelular de $CO_2$ con la cual se logra $PN_{max}$  |
| CM             | cuadrado medio  |
| cm             | Centímetro  |
| $CO_2$         | dióxido de carbono  |
| $COS$          | carbono orgánico del suelo  |
| $CRAS$         | contenido relativo de agua en el suelo  |
| $CSP$          | contribución específica por presencia   |
| CV             | coeficiente de variación  |
| cv.            | Cultivar  |
| $\Delta CO_2$  | diferencia de concentración de $CO_2$ determinada por el IRGA entre el aire que entra y el que sale de la cámara de intercambio gaseoso |
| $\Delta DPV$   | diferencia del déficit de presión de vapor interior y exterior de la cámara   |
| $\Delta e$     | diferencia de presión de vapor entre el aire que entra y el aire que sale de la cámara de intercambio gaseoso                           |
| $\Delta T$     | diferencia de temperatura   |
| $\Delta PC$    | porcentaje de aumento del porcentaje de cobertura   |
| d              | Día   |
| DE             | desviación estándar   |
| DPV            | déficit de presión de vapor   |
| dS             | deciSiemens   |
| $E$            | Evapotranspiración  |
| EEA            | Estación Experimental Agropecuaria  |
| <i>e.g.</i>    | por ejemplo   |
| $EN$           | evapotranspiración nocturna   |
| $e_o$          | presión de vapor fuera de la cámara de intercambio gaseoso  |
| $ES$           | evaporación del suelo   |
| $EUA$          | eficiencia de uso de agua   |
| $\Phi$         | convexidad de la curva de respuesta de $PN$ con respecto a $RFA$  |

|                  |  |
|------------------|--|
| F                | en el análisis de la varianza, valor del estadístico                         |
| g                | Gramo  |
| <i>Ge</i>        | evaporación exterior determinada mediante el método gravimétrico             |
| <i>Gi</i>        | evaporación interior determinada mediante el método gravimétrico             |
| gl               | grados de libertad   |
| GL               | porcentaje de germinación bajo condiciones de luz                            |
| GO               | porcentaje de germinación bajo condiciones de oscuridad permanente           |
| GRL              | índice de germinación relativo a la luz                                      |
| <i>gs</i>        | conductancia estomática  |
| h                | Hora   |
| H <sub>2</sub> O | Agua   |
| ha               | Hectárea   |
| <i>IC</i>        | intercambio de CO <sub>2</sub>   |
| <i>ICN</i>       | intercambio de CO <sub>2</sub> nocturno                                      |
| INTA             | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria                                |
| IRGA             | analizador infrarrojo de gases   |
| <i>ISL</i>       | índice de saturación lumínico (valor de <i>RFA</i> cuando $PN = PN_{max}$ )  |
| K                | Potasio  |
| K <sup>+</sup>   | catión potasio   |
| kg               | Kilogramo  |
| l                | Litro  |
| LED              | luz emitida por diodos   |
| LSD              | método estadístico de comparaciones múltiples de medias propuesto por Fisher |
| m                | Metro  |
| MF               | materia fresca   |
| Mg <sup>+2</sup> | catión magnesio  |
| mg               | mili gramo   |
| min              | Minuto   |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| ml                      | Mililitro  |
| mm                      | Milímetro  |
| mmol                    | mili mol   |
| $\mu$ mol               | micro mol  |
| mol                     | Mol  |
| <i>MOS</i>              | materia orgánica del suelo   |
| MPa                     | mega Pascal  |
| MS                      | materia seca   |
| m.s.n.m.                | metros sobre el nivel del mar  |
| N                       | Nitrógeno  |
| <i>n</i>                | número de repeticiones   |
| ns                      | diferencia estadística no significativa  |
| O <sub>2</sub>          | Oxígeno  |
| P                       | Fósforo  |
| <i>p</i>                | Probabilidad   |
| Pa                      | Pascales   |
| <i>PA</i>               | presión atmosférica  |
| PC                      | porcentaje de cobertura de suelo   |
| <i>PCC</i>              | punto de compensación de CO <sub>2</sub> (valor de <i>PN</i> cuando <i>Cic</i> = 0)                |
| <i>PCL</i>              | punto de compensación lumínico (valor de <i>PN</i> cuando <i>RFA</i> = 0)                          |
| PG                      | porcentaje de germinación  |
| <i>PN</i>               | fotosíntesis neta  |
| <i>PN<sub>max</sub></i> | fotosíntesis neta máxima   |
| pH                      | potencial hidrógeno  |
| Pp                      | Precipitación  |
| ppm                     | partes por millón  |
| <i>Q</i>                | caudal de aire   |
| <i>R</i>                | constante universal de los gases (8,314472 [Pa m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]) |

|         |  |
|---------|--|
| $R^2$   | coeficiente de determinación, relación entre la variación explicada por el modelo y la variación total |
| $R_b$   | respiración basal del suelo  |
| $R_D$   | respiración mitocondrial   |
| $RFA$   | radiación fotosintéticamente activa  |
| $RS$    | respiración del suelo  |
| Rubisco | ribulosa-1,5-bifosfato-carboxilasa/oxigenasa   |
| s       | Segundo  |
| $T$     | Temperatura  |
| $TH$    | temperatura de la hoja   |
| $TM$    | temperatura máxima   |
| $Tm$    | temperatura mínima   |
| tn      | Toneladas  |
| $TN$    | transpiración neta   |
| $T_o$   | temperatura ambiente [K]   |
| TMG     | tiempo medio de germinación  |
| $TS$    | temperatura del suelo  |
| $u$     | flujo molar del aire   |
| VS      | volumen de sedimentación   |
| W       | peso de macetas en un momento dado   |
| Wc      | peso de macetas con el suelo seco  |
| Wm      | peso de macetas 24 horas después de un riego   |

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En los oasis cultivados de Mendoza es imprescindible regar los cultivos debido a las escasas precipitaciones y a la elevada evapotranspiración (Catania *et al.*, 2012). El establecimiento de un cultivo de cobertura en el interfilas de un viñedo está principalmente limitado por la disponibilidad de agua. En cultivos regados de manera superficial se utilizan diversas especies introducidas o exóticas como coberturas vegetales. Su implantación, establecimiento y mantenimiento requiere un suministro hídrico adicional (Prichard, 1998). En viñedos regados con sistemas localizados, debido a la baja disponibilidad hídrica en sus interfilas, resulta dificultoso establecer coberturas vegetales con tales especies introducidas o exóticas con alto requerimiento hídrico (Logan, 2009; Uliarte y del Monte, 2009). En algunos casos se deja desarrollar la vegetación espontánea, la cual se va seleccionando por el manejo cultural y alcanza un predominio de especies herbáceas nativas, principalmente gramíneas perennes (Uliarte, 2013). Estas especies, originarias de ambientes áridos a desérticos, desarrollan estrategias para evitar las pérdidas de agua y maximizar la fotosíntesis (Gibson, 1998). Estas características toman mayor importancia si se tienen en cuenta los futuros escenarios de cambio climático, donde se predicen temperaturas más elevadas, mayores niveles de CO<sub>2</sub> y condiciones de menor disponibilidad de agua para riego.

El objetivo de esta investigación consiste en detectar las especies herbáceas nativas que posean mayores aptitudes para su utilización como coberturas en viñedos bajo riego localizado. De las especies nativas presentes en los valles cultivados de Mendoza, las evaluadas en este trabajo fueron las más abundantes encontradas en tres sitios de observación o cultivos comerciales de vid: *Setaria leucopila* (Scribn. & Merr.) K. Schum. “cola de zorro” (C<sub>4</sub>); *Pappophorum phillippianum* Parodi “pasto amargo” (C<sub>4</sub>); *Digitaria californica* (Benth.) Henrard var. *californica* “pasto plateado” (C<sub>4</sub>); *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A. Gray “esporobolo” (C<sub>4</sub>); *Leptochloa dubia* (Kunth) Nees “pata de

ñandú” ( $C_4$ ); y *Nassella tenuis* (Phil.) Barkworth (ex *Stipa tenuis*) “flechilla de invierno” ( $C_3$ ).

Estudios sobre cambio climático predicen para el año 2080 y para la región oeste de la Argentina un incremento de la concentración de  $CO_2$  de 530 a 720 ppm (Hulme y Sheard, 1999), el aumento del volumen total de lluvias en menos eventos más severos (Labraga y Villalba, 2009), el incremento de la temperatura media anual entre 1,2 y 4°C (Hulme y Sheard, 1999) y la disminución de la precipitación nival en la cordillera de los Andes, que conlleva a la reducción del volumen de agua en los ríos que son alimentados por el deshielo y son luego utilizados para riego (República Argentina, 2007; Labraga y Villalba, 2009). El aumento de temperatura generaría condiciones de evaporación más elevadas (IPCC, 2007), con menor disponibilidad de agua para riego y por lo tanto, mayor déficit hídrico en los oasis de la provincia de Mendoza. Tales predicciones, desde hace ya varias décadas, son objeto de investigación en distintos sitios del planeta, con el propósito de verificar su efecto sobre los organismos (Helms *et al.*, 1996; Bale *et al.*, 2002; Garrett *et al.*, 2006; Hutchinson *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2013), sus interacciones (Stiling y Cornelissen, 2007) y los ecosistemas en general (Walther *et al.*, 2002; Lal, 2004; Lioubimtseva y Adams, 2004; Parmesan, 2006).

Las plantas pueden dividirse en dos grandes grupos según el tipo de ruta metabólica seguida durante el proceso de fotosíntesis:  $C_3$  y  $C_4$ . La fotorrespiración es una oxidación de los compuestos intermediarios de la fotosíntesis a  $CO_2$  estimulado por la luz y por el aumento de la presión parcial de  $O_2$  (Chollet y Ogren, 1975; Larcher, 2003). Durante dicho proceso la enzima fijadora de la fotosíntesis (Rubisco) utiliza como sustrato al  $O_2$  en vez del  $CO_2$ ; esto provoca una pérdida del 20 al 50% del carbono fijado en plantas del tipo  $C_3$  (Larcher, 2003). Sin embargo, en plantas del tipo  $C_4$  no se ha detectado liberación de  $CO_2$  en presencia de luz. Las mismas evitan la fotorrespiración debido a un mecanismo de captación de diferencial  $CO_2$  y liberación del mismo en el sitio activo de la Rubisco: el tejido del haz de la vaina, propio de la anatomía Kranz de este tipo de plantas. A pesar de requerir un costo energético adicional, las modificaciones en el metabolismo y la anatomía de las hojas de especies  $C_4$  les permite mejorar su desempeño incluso en períodos con baja concentración de  $CO_2$  (Ehleringer *et al.*, 1991; Nobel, 2009). En general, las especies  $C_3$  son más plásticas fenotípicamente que las especies del tipo  $C_4$  (Sage y McKown, 2006).

Probablemente por esta razón las especies  $C_3$  se encuentran más ampliamente distribuidas y puedan adaptarse a los cambios progresivos de temperatura. La plasticidad fenotípica es la habilidad de organismos individuales de responder a cambios ambientales alterando sus características (Pigliucci, 2001).

Este trabajo se inserta en el área de las Ciencias Agrarias y se vincula con el manejo de suelo en viticultura, específicamente en los viñedos manejados con riego localizado, ubicados en el Monte Occidental de la provincia de Mendoza.

Los valles cultivados de la provincia de Mendoza fueron clasificados por diversos autores como ecosistemas áridos y semiáridos (Capitanelli, 1967; Roig, 1970; Noy-Meir, 1973). En estos lugares es imprescindible regar los cultivos debido a las escasas precipitaciones anuales (200 – 300 mm) y a la elevada evapotranspiración durante los meses estivales (6 – 7 mm d<sup>-1</sup>) (Catania *et al.*, 2012). Según la FAO (2000) mantener el suelo libre de una cobertura vegetal provoca degradación física del suelo, con un consecuente efecto perjudicial sobre el cultivo. El uso de coberturas en viñedos, ya sea temporaria o permanente, está cada vez más difundido debido a sus múltiples beneficios tal como: conservar la estructura del suelo, mejorar la infiltración, incrementar la oxigenación de las raíces, reducir la compactación, controlar la erosión, incrementar la actividad biológica del suelo, incorporar materia orgánica, controlar malezas y favorecer el ingreso anticipado de la maquinaria agrícola luego de una lluvia o un riego (Ingels *et al.*, 1998). En la actualidad, los sistemas de riego gravitatorio han comenzado a sustituirse por sistemas localizados para aumentar su eficiencia (Miranda y Medina, 2005). En los interfilares de cultivos perennes con riego localizado resulta complejo establecer coberturas vegetales con especies introducidas o exóticas debido a las condiciones de baja disponibilidad hídrica (Logan, 2009; Uliarte y del Monte, 2009).

Actualmente, en Estados Unidos y Canadá se comercializan semillas de especies nativas y se han realizado ensayos utilizándolas como coberturas vegetales en viñedos (Ingels *et al.*, 2005). En Australia hay experiencias en viñedos comerciales y actualmente se encuentran en marcha proyectos para el estudio de especies nativas y su utilización en el manejo de suelo (Penfold *et al.*, 2005). Localmente no existen investigaciones que busquen seleccionar especies para tal fin. Tampoco hay semillas disponibles comercialmente para

establecerlas exitosamente como cobertura vegetal en los interfilares de cultivos perennes provistos de riego localizado.

Resulta fundamental generar conocimiento acerca del crecimiento y desarrollo de las especies herbáceas nativas que se establecen exitosamente de manera natural y espontánea en viñedos con riego localizado (implantados sobre suelos vírgenes y sin roturación excesiva), comprender su desempeño como cobertura vegetal y cuantificar su aporte al balance de carbono de la industria vitivinícola. Mediante este trabajo se evaluó un grupo de gramíneas perennes nativas y se detectaron las más aptas para su desempeño como cobertura vegetal. Se espera que, mediante futuras investigaciones, estas especies puedan ser domesticadas y comercializadas. De esta manera atender la necesidad real y actual detectada para 15,4% de la superficie de regadío de la provincia de Mendoza que posee viñedos con riego localizado por goteo y microaspersión (INV, 2011).

Las hipótesis de este trabajo fueron:

- Las especies *N. tenuis*, *P. phillippianum*, *S. cryptandrus*, *L. dubia*, *S. leucopila* y *D. californica* constituyen una alternativa de cobertura que se adapta a viñedos con riego localizado.
- Dichas especies ofrecen una respuesta fisiológica diferencial ante modificaciones de las condiciones ambientales.
- Las especies *N. tenuis*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *D. californica* constituyen una fuente de secuestro de carbono en viñedos con riego localizado.

El objetivo general de este trabajo de investigación fue evaluar seis especies herbáceas nativas predominantes en tres zonas vitícolas de Mendoza y seleccionarlas según sus aptitudes para ser utilizadas como coberturas vegetales en viñedos bajo riego localizado.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Caracterizar el comportamiento fisiológico de seis especies herbáceas nativas creciendo espontáneamente en viñedos con riego por goteo.
- Describir la respuesta de estas especies a modificaciones en las condiciones ambientales y predecir sus posibles cambios a nivel de eficiencia fotosintética e intensidad transpiratoria, bajo un futuro escenario climático de temperaturas más elevadas, mayores niveles de CO<sub>2</sub> y condiciones de restricción hídrica.
- Contabilizar el balance de carbono y el consumo hídrico anual de cuatro especies herbáceas nativas (*N. tenuis*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *D. californica*).
- Determinar las condiciones de germinación óptimas para cada una de las especies evaluadas.

Metodológicamente, se detallan las etapas que fueron necesarias para lograr cada uno de los objetivos específicos planteados.

Para cumplir el primer objetivo, se demarcaron tres interfilares en viñedos ubicados dentro de tres climas vitícolas diferentes (oasis Este de Mendoza, zona alta del Río Mendoza y Valle de Uco). Se realizó un seguimiento de las especies herbáceas nativas creciendo espontáneamente y se determinó el porcentaje de cobertura en cada sitio de estudio. Se identificaron las especies presentes y se realizó un herbario a modo de registro. Mediante el uso de un analizador infrarrojo de gases (IRGA), se realizaron determinaciones de intercambio gaseoso en hojas durante la época de crecimiento.

Las diferencias en las condiciones del suelo, el clima y el manejo de cada sitio de estudio modificaron las características y la composición de la cobertura vegetal espontánea a lo largo de los años. Por ello, los flujos de intercambio gaseoso fueron distintos entre las especies, las épocas de medición y los sitios de observación. *P. phillippianum* es una especie con buenas perspectivas para su uso como cobertura vegetal, registró elevada fotosíntesis neta (*PN*) y se corroboró su presencia en los tres sitios. *N. tenuis*, una especie C<sub>3</sub> con crecimiento otoño – invierno – primaveral, tuvo ventajas frente a las restantes

especies durante el otoño y la primavera, ya que en dichas épocas registró elevados valores de eficiencia en el uso del agua,  $PN$  y transpiración neta ( $TN$ ).

Para alcanzar el segundo objetivo, se trasplantaron las especies seleccionadas en macetas de 25 litros cada una. Las mismas fueron distribuidas aleatoriamente en un sector acondicionado para ello. Sobre estas plantas se realizó un seguimiento de la producción de materia seca (MS) y se determinaron las curvas de respuesta de fotosíntesis a modificaciones instantáneas de la concentración de  $CO_2$ , del nivel de radiación fotosintéticamente activa ( $RFA$ ) y de la temperatura de hoja, y los flujos de intercambio gaseoso según el contenido de humedad de suelo.

En dicho ensayo se observó que *S. cryptandrus* y *D. californica* produjeron la mayor cantidad y *N. tenuis* la menor cantidad de MS en los 2 últimos ciclos de crecimiento. La fotosíntesis neta máxima ( $PN_{max}$ ) podría ser alcanzada por las especies  $C_4$  con 323 ppm de  $CO_2$  y por la especie  $C_3$  con 600 ppm. La eficiencia fotoquímica, el índice de saturación lumínico y la  $PN_{max}$  alcanzada por las especies  $C_4$  fueron significativamente mayores que para la  $C_3$ . La temperatura con la cual podrían alcanzar dichas especies su  $PN_{max}$  también fue mayor para las especies  $C_4$  (30°C) que para las  $C_3$  (27°C). Se registró una diferencia en cuanto al contenido relativo de agua en el suelo ( $CRAS$ ) con el cual las especies alcanzaron su  $PN_{max}$ , este valor fue 100% para las  $C_4$  y cercano al 80% para la  $C_3$ .

Para lograr el tercer objetivo, se trasplantaron cuatro especies (*N. tenuis*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *D. californica*) en parcelas de dos metros cuadrados en el centro del sitio interfilar de un viñedo con riego por goteo ubicado en la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza del INTA. A modo de comparación se instalaron además dos tratamientos: suelo descubierto y vegetación espontánea del lugar (control). En estas parcelas se determinó una aproximación del balance anual de carbono mediante el uso de una cámara para canopia entera con sistema abierto y el IRGA. Además, se determinó la producción de materia seca anual (MS) de cada especie y altura máxima de sus plantas (AM), se realizó el seguimiento de su desarrollo fenológico y se monitoreó su porcentaje de cobertura (PC).

Las especies nativas fueron trasplantadas en un viñedo con riego localizado, se establecieron exitosamente, completaron sus ciclos fenológicos y lograron aumentar su PC

entre el 16 y el 47%. Tanto la producción de MS como la AM de las plantas dependieron del ciclo de medición; las plantas crecieron en función de la disponibilidad hídrica, en este caso, proveniente de las precipitaciones. *D. californica* registró un balance absoluto de CO<sub>2</sub> mayor que el resto de las especies evaluadas, y elevado PC, producción de MS y consumo hídrico absoluto anual. *N. tenuis* logró elevado PC, producción de MS y su balance de carbono absoluto fue intermedio. Al obtener el balance de carbono y el consumo hídrico relativos al PC, los resultados fueron diferentes. El balance de carbono relativo fue similar para todos los tratamientos con cobertura vegetal y mayor que el tratamiento con suelo descubierto. Las especies nativas consumieron 2,6 y la cobertura espontánea 3,8 veces más agua que el tratamiento con suelo descubierto. En la cobertura espontánea se identificaron especies exóticas y nativas, monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Luego de cosechar semillas de las especies cultivadas en macetas, se realizaron pruebas de germinación en una cámara de crecimiento y se consiguió el cuarto objetivo planteado. Los ensayos se realizaron utilizando distintas temperaturas y condiciones de luz u oscuridad permanente. Se determinó el porcentaje de germinación (PG), el tiempo medio de germinación (TMG) y se registró del peso de 1000 semillas para cada especie.

*D. californica*, con semillas pesadas (2,8 mg por semilla), logró el mayor PG en casi todas las condiciones ensayadas (93%). *P. philippianum* (2,6 mg por semilla) obtuvo elevado PG en condiciones de luz (68%). *L. dubia* alcanzó su máximo PG con temperaturas elevadas y en oscuridad (66%). Para obtener un PG > 60%, además de altas temperaturas (35°C), las semillas de *S. cryptandrus* necesitaron una escarificación previa; estas fueron las semillas más pequeñas de todas las especies (0,1 mg). *N. tenuis* logró PG cercanos al 50% en condiciones de luz y temperatura media (25°C). Por último, *S. leucopila* fue escarificada previamente y registró el menor PG (21%). El TMG aumentó linealmente en función de la temperatura para todas las especies.

A partir de los resultados obtenidos, todas las especies evaluadas poseen potencial para ser utilizadas como coberturas vegetales en cultivos bajo riego localizado; pero se puede inferir que las especies *D. californica*, *N. tenuis* y *P. philippianum* (en orden de

importancia) poseen ventajas fisiológicas, de desarrollo, crecimiento y multiplicación para su uso como cobertura vegetal en viñedos bajo riego por goteo.

Además de las páginas preliminares, este trabajo de tesis se divide en ocho capítulos. El primero es la presente introducción. El segundo, el tercero, el quinto y el sexto capítulo buscan alcanzar cada objetivo específico. En cada uno de estos capítulos se desarrolla una introducción, se plantea el marco teórico, la metodología a utilizar para lograr el objetivo deseado, se describen los resultados obtenidos, la discusión del tema y por último, se plantea una conclusión específica.

El capítulo cuatro describe el desarrollo y la validación de una cámara abierta de intercambio gaseoso. La misma fue utilizada durante las determinaciones de balance de carbono y consumo hídrico anual realizadas en el capítulo cinco.

A continuación, el capítulo siete retoma las conclusiones específicas e introduce la conclusión general de este trabajo de investigación. Posteriormente, el capítulo número ocho presenta la bibliografía citada en los capítulos anteriores. Para finalizar, en las últimas páginas se detallan los anexos que complementan y facilitan la comprensión de la tesis.

# COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE ESPECIES NATIVAS ESPONTÁNEAS EN VIÑEDOS CON RIEGO LOCALIZADO

### Introducción

En los oasis de Mendoza, el establecimiento de un cultivo de cobertura en el sitio interfilar de un viñedo está principalmente limitado por la disponibilidad de agua. En viñedos que poseen riego superficial por surco o por manto se utilizan diversas especies cultivadas exóticas. Su implantación, establecimiento y mantenimiento requiere un suministro hídrico adicional (Prichard, 1998). Por lo tanto, se necesita agregar una lámina extra de agua para cubrir no sólo los requerimientos hídricos de la cobertura, sino también para compensar las pérdidas de agua por infiltración debido al retraso de avance del agua. Esto aumenta el requerimiento hídrico de viñedos con cultivos de cobertura bajo riego superficial (Uliarte y del Monte, 2006a).

En cultivos con riego localizado en zonas áridas resulta complejo lograr el establecimiento y predominio de las especies utilizadas comúnmente como coberturas. Los mayores problemas se presentan en suelos con baja capacidad de retención de agua, con amplios distanciamientos entre hileras y en períodos de escasa precipitación. Este problema se agrava si se tienen en cuenta las predicciones a futuro del impacto del cambio climático (Hulme y Sheard, 1999) y la disminución del agua disponible para la agricultura irrigada debido al crecimiento del consumo del recurso hídrico por parte de la población (Vorosmarty *et al.*, 2000). Los distintos escenarios, según estudios de cambio climático para la región oeste de la Argentina, predicen para el año 2080 un incremento de la temperatura media anual de 1,2 a 4°C (Hulme y Sheard, 1999), un menor volumen de agua en los ríos debido a una menor cantidad de nieve en la cordillera (República Argentina, 2007; Labraga y Villalba, 2009) y un aumento del volumen total de lluvias en menor

número de eventos más severos (Labraga y Villalba, 2009). El aumento de temperatura generará mayor evapotranspiración, mayor déficit hídrico y menor disponibilidad de agua para riego.

En viñedos implantados con riego localizado sobre suelo virgen recientemente desmontado normalmente los productores dejan desarrollar la vegetación espontánea, la cual se va seleccionando por el manejo cultural, alcanzando un predominio de especies herbáceas nativas en donde prevalecen gramíneas del tipo C<sub>4</sub>, perennes y de crecimiento estival (Uliarte, 2013). Estas especies son dominantes en sitios de Mendoza con bajas altitudes (570 – 1100 m.s.n.m.), pero a mayores altitudes (1600 – 2400 m.s.n.m.) las plantas del tipo C<sub>3</sub> se vuelven dominantes en la cobertura vegetal; en altitudes intermedias prevalecen ambos tipos de plantas (Cavagnaro, 1988). Estas coberturas espontáneas pueden ser mantenidas mediante segado durante muchos años, siempre y cuando no se realice movimiento de suelo.

Es posible que estas especies, que crecen y se desarrollan en distintos ambientes, puedan adecuarse a los estimados cambios climáticos futuros. Las mismas adoptan fácilmente estrategias para conservar el agua, sin realizar exclusivamente adaptaciones estructurales (Gibson, 1998). Además, en los montes nativos de Mendoza, estas especies presentan pulsos de crecimiento acoplados a las lluvias (Villagra *et al.*, 2011). De esta manera, pueden responder y adaptarse favorablemente al aumento previsto de la temperatura ambiente y del déficit hídrico.

El objetivo de este capítulo fue caracterizar el comportamiento fisiológico de seis especies herbáceas nativas creciendo espontáneamente en viñedos con riego localizado ubicados en tres zonas con diferentes climas vitícolas de Mendoza.

## **Materiales y métodos**

### **Parcelas experimentales**

Se seleccionaron tres fincas representando tres climas vitícolas diferentes: zona del Este mendocino (distrito Alto Verde, departamento Santa Rosa), zona alta del Río

Mendoza (distrito Barrancas, departamento Maipú) y Valle de Uco (distrito Los Árboles, departamento Tunuyán) (Catania *et al.*, 2012). Estas fincas poseen viñedos conducidos en espaldera alta, con malla antigranizo y riego localizado por goteo.

Los cultivos fueron implantados luego del desmonte del campo natural sin roturar excesivamente el suelo. Los viñedos seleccionados fueron Finca Clement en el departamento de Santa Rosa, Finca del Inca en el departamento de Maipú y Finca Salentein ubicada en el departamento de Tunuyán (Anexo 1).

En Finca Clement el cuartel bajo evaluación fue implantado con *Vitis vinifera* cv. Syrah sobre pie franco en el año 2001, con un distanciamiento de 2,5 m entre hileras y 1,5 m entre plantas ( $2.667 \text{ plantas ha}^{-1}$ ). En Finca del Inca el cuartel seleccionado también está implantado con *Vitis vinifera* cv. Syrah desde el año 2000 sobre el pie P1103. Las hileras se encuentran distanciadas a 1,8 m y las plantas a 1,5 m, con una densidad de  $3.704 \text{ plantas ha}^{-1}$ . En Finca Salentein los sitios interfilares de *Vitis vinifera* cv. Malbec, implantado en el año 2005, están distanciados a 1,8 m y las plantas de vid a 1 m entre ellas. En este caso la densidad de plantas es la más elevada con  $5.556 \text{ plantas ha}^{-1}$ . En los tres viñedos evaluados se realiza pre-poda mecanizada durante el invierno y poda final manual; el sistema utilizado es cordón bilateral pitoneado.

### **Caracterización edáfica y climática**

Se realizó un muestreo del suelo de cada parcela de 0 a 30 cm de profundidad en cada sitio de observación. La elección de la profundidad de muestreo fue debido a la elevada presencia de canto rodado y piedras de elevado tamaño en Finca del Inca. Se tomaron tres muestras compuestas en cada sitio de observación de 2 kg aproximadamente. Estas muestras fueron obtenidas de submuestras tomadas en la cabeza, el medio y el pie de tres hileras. Durante un análisis físico-químico se determinó la clasificación textural por volumen de sedimentación (Nijensohn y Pilasi, 1962); además se realizó la determinación de pH y conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CEes), y de los contenidos de nitrógeno (N) total mediante el método de Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982), de fósforo (P) disponible (Nijensohn, 1991), de potasio (K) intercambiable (Knudsen *et al.*, 1982) y de la materia orgánica del suelo (MOS) mediante el método de Walkley y Black

(1934). Con el resultado de dichos análisis se realizó la caracterización edáfica de cada sitio de observación.

Se recolectaron los datos registrados por las estaciones meteorológicas más próximas a cada sitio de observación para realizar su caracterización climática. Para ello se utilizó la información disponible en sitio web de la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas, perteneciente al Ministerio de Producción, Tecnología e Innovación del Gobierno de la provincia de Mendoza (DACC, 2014). Las estaciones meteorológicas seleccionadas para tal fin fueron las indicadas en la Tabla 2.1.

Según Catania *et al.* (2012) el oasis Este de Mendoza se caracteriza por tener un clima vitivinícola caluroso, con noches cálidas; la zona alta del Río Mendoza también es calurosa, con noches frías; y el Valle de Uco es templado caluroso, con noches muy frías.

Tabla 2.1. Ubicación de los sitios de observación y de las estaciones meteorológicas cercanas a ellos.

| <b>Sitio de observación</b>   | <b>Finca Clement</b>   | <b>Finca del Inca</b> | <b>Finca Salentein</b> |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Ubicación                     | Alto Verde, Santa Rosa | Barrancas, Maipú      | Los Árboles, Tunuyán   |
| Latitud                       | 33° 07' S              | 33° 04' S             | 33° 30' S              |
| Longitud                      | 68° 11' O              | 68° 44' O             | 69° 13' O              |
| Altitud (m.s.n.m.)            | 620                    | 784                   | 1099                   |
| <b>Estación meteorológica</b> | <b>Las Catitas</b>     | <b>Russel</b>         | <b>Agua Amarga</b>     |
| Latitud                       | 33° 15' S              | 33° 01' S             | 33° 31' S              |
| Longitud                      | 68° 03' O              | 68° 45' O             | 69° 12' O              |
| Altitud (m.s.n.m.)            | 590                    | 850                   | 970                    |

Se recolectaron los datos meteorológicos registrados durante 7 años consecutivos, desde el año 2007 hasta el año 2013 inclusive. Luego los valores de temperatura media, máxima y mínima absoluta, y precipitación anual fueron promediados para poder describir climáticamente cada uno de los sitios.

## **Cobertura del suelo**

Se demarcaron tres sitios interfilares en los viñedos elegidos de cada una de las fincas en evaluación, para realizar su seguimiento a lo largo de la investigación. Se realizó un relevamiento y reconocimiento de las especies herbáceas nativas creciendo espontáneamente en cada sitio de observación. Para ello se tomaron tres individuos de cada especie presente, se herborizaron, se montaron y se identificaron taxonómicamente. De esta manera se obtuvo un herbario por cada zona de observación.

Durante los meses de diciembre de 2010 y octubre de 2012 se realizó un seguimiento del porcentaje de cobertura en cada uno de los sitios mediante el método de Point Quadrat (Passera *et al.*, 1983). En cada finca se registraron las plantas presentes cada 10 cm a lo largo de tres transectas de 10 m de longitud cada una. La primer transecta se ubicó en la cabeza del sitio interfilar n° 1, la segunda en el centro del sitio interfilar n° 2 y la última en el pie del sitio interfilar n° 3. Se calculó la frecuencia centesimal o porcentaje de cobertura de cada especie, la contribución específica por presencia (CSP), y el porcentaje correspondiente a suelo descubierto, rastrojo o restos vegetales, piedras y cobertura vegetal. Además, se calcularon los porcentajes de especies según su estatus (nativas y exóticas), su hábito de crecimiento (perennes y anuales; herbáceas y arbustivas) y la clase taxonómica a la que pertenecen (monocotiledóneas y dicotiledóneas).

## **Intercambio gaseoso**

Para realizar las determinaciones de intercambio gaseoso en cada sitio de observación se evaluaron las dos especies más abundantes de la cobertura vegetal y una tercera especie que se repetía en algún otro sitio. En Finca Clement se evaluaron las especies: *Setaria leucopila* (Scribn. & Merr.) K. Schum., *Pappophorum phillippianum* Parodi y *Digitaria californica* (Benth.) Henrard var. *californica*. En Finca del Inca: *Leptochloa dubia* (Kunth) Nees, *D. californica* (Benth.) Henrard var. *californica* y *P. phillippianum* Parodi. Por último, en Finca Salentein: *Nassella tenuis* (Phil.) Barkworth, *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A. Gray y *P. phillippianum* Parodi (Zuloaga *et al.*, 2008). Todas estas especies pertenecen a la familia *Poaceae*, poseen un hábito de crecimiento perenne (hemicriptófitas) y son de estatus nativas (Tabla 2.2).

Mediante el sistema portable de medición de fotosíntesis CIRAS-2 (PP Systems, Massachusetts, USA) se realizaron las determinaciones de fotosíntesis neta (*PN*) y transpiración neta (*TN*) durante la época de crecimiento. Las condiciones de medición fueron temperatura ambiental, luz ambiental y 380 ppm de concentración de CO<sub>2</sub> como referencia. Se utilizó una cámara de hoja con una cubeta de 70 x 250 mm. Se introdujeron dentro de la cubeta tantas hojas como fuera posible, de manera de cubrir completamente la superficie de la misma (Lopes *et al.*, 2004). Durante cada jornada de medición se tomaron al azar diez plantas por especie para realizar la determinación sobre hojas jóvenes, completamente expandidas y con plena exposición a la luz (Flexas *et al.*, 2007). Las determinaciones se realizaron en tres oportunidades durante la etapa de crecimiento (primavera, verano y otoño) entre las 11 y 15 h. Según observaciones previas, estos momentos coinciden con la mayor actividad en el intercambio gaseoso de las plantas (Lopes *et al.*, 2004; Uliarte, 2013). Los momentos en los que se realizaron las determinaciones dependieron de la disponibilidad del equipo de medición, por ello se realizaron 5 repeticiones: 2 en verano, 1 en otoño y 1 en primavera.

Tabla 2.2. Características de las especies nativas evaluadas en los sitios de observación.

| Nombre común          | Nombre científico   | Grupo          | Crecimiento activo          |
|-----------------------|---|----------------|-----------------------------|
| Pasto plateado        | <i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard var. <i>Californica</i> | C <sub>4</sub> | verano                      |
| Pata de ñandú         | <i>Leptochloa dubia</i> (Kunth) Nees                                  | C <sub>4</sub> | verano                      |
| Cola de zorro         | <i>Setaria leucopila</i> (Scribn. & Merr.) K. Schum.                  | C <sub>4</sub> | verano                      |
| Pasto amargo          | <i>Pappophorum phillippianum</i> Parodi                               | C <sub>4</sub> | verano                      |
| Esporobolo            | <i>Sporobolus cryptandrus</i> (Torr.) A. Gray                         | C <sub>4</sub> | verano                      |
| Flechilla de invierno | <i>Nassella tenuis</i> (Phil.) Barkworth                              | C <sub>3</sub> | otoño, invierno y primavera |

Se calculó la eficiencia en el uso del agua (*EUA*) para cada especie y época en cada uno de los sitios de observación, como el cociente entre *PN* y *TN* (g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O).

En cada sitio y momento de medición se tomaron tres muestras de suelo para determinar su contenido hídrico (*CHS*) mediante el método gravimétrico, recolectadas de 0 a 20 cm de profundidad, en la cabeza, en el medio y en el pie del centro de un sitio

interfilas. De este modo poder relacionar la actividad fotosintética de las plantas con el *CHS* (Larcher, 2003).

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos durante las determinaciones de intercambio gaseoso fueron analizados utilizando el programa estadístico InfoStat (2014). Se realizó el análisis de la varianza (ANAVA) de las variables *PN*, *TN* y *EUA* en función de la especie y la época de medición para cada sitio de observación. En caso de registrar una interacción significativa especie\*época, se procedió al análisis comparativo de las especies particionado por la época de medición. En todos los casos se corroboró la distribución normal y la homogeneidad de la varianza de los datos evaluados. Se realizó un análisis de correlación, mediante el coeficiente de Pearson, de los datos del contenido hídrico del suelo con los flujos de intercambio gaseoso para cada época de medición. El software SigmaPlot 11.0 (Systat Software, California, USA) fue utilizado para representar gráficamente los resultados.

## **Resultados**

### **Caracterización edáfica y climática**

El sitio de observación ubicado en Finca Clement, según su volumen de sedimentación (VS) posee un suelo de textura netamente arenosa (Tabla 2.3). El suelo posee muy bajo contenido de nitrógeno (N), alto contenido de potasio (K) y muy alto contenido de fósforo (P) (Vallone, 2005) y su pH es prácticamente neutro. El suelo es salino, ya que el extracto de saturación posee una conductividad eléctrica (CEes) de 4,9 dS m<sup>-1</sup> (Richards, 1993).

Los sitios interfilares en Finca del Inca poseen textura arenosa con elevada presencia de piedras. Este suelo posee muy bajo contenido de N, un contenido medio de P, buen contenido de K (Vallone, 2005) y el pH es aproximadamente neutro. Al igual que en Finca Clement, el suelo muestreado es salino, posee una CEes de 4,3 dS m<sup>-1</sup> (Richards, 1993).

Según el VS el suelo muestreado en Finca Salentein posee textura arenosa. Al igual que los otros dos sitios, el suelo tiene muy bajo contenido de N total, presenta altas concentraciones de P y K (Vallone, 2005) y un pH cercano a la neutralidad. A diferencia de los sitios anteriores, la CEes indica que el suelo no es salino (Richards, 1993).

En cuanto al contenido de *MOS*, los sitios muestreados en Finca Clement y Finca del Inca resultaron ser extremadamente pobres y el sitio muestreado en Finca Salentein fue pobre (Walkley y Black, 1934). En zonas áridas de regadío de Mendoza la fracción de materia orgánica del suelo (*MOS*) comúnmente es menor al 1% (Hudson *et al.*, 1990).

Tabla 2.3. Resultados del análisis de suelo en cada sitio de observación. Muestras compuestas, tomadas de 0 a 30 cm en el mes de noviembre de 2010.

| Sitio de observación | Textura | CEes | pH  | N   | P    | K     | <i>MOS</i> |
|----------------------|---------|------|-----|-----|------|-------|------------|
| Finca Clement        | Arenoso | 4,9  | 7,3 | 238 | 13,2 | 320,5 | 0,4        |
| Finca del Inca       | Arenoso | 4,3  | 7,4 | 293 | 4,5  | 180,0 | 0,5        |
| Finca Salentein      | Arenoso | 0,7  | 7,3 | 357 | 10,8 | 331,5 | 0,8        |

CEes: conductividad eléctrica del extracto de saturación [ $\text{dS m}^{-1}$ ]; N: nitrógeno total [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]; P: fósforo disponible [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]; K: potasio intercambiable [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]; *MOS*: materia orgánica del suelo [%].

En la tabla 2.4 se puede observar que las temperaturas máximas se encuentran por encima de  $30^{\circ}\text{C}$  y el mayor registro corresponde a Finca Clement ( $32,6^{\circ}\text{C}$ ), aunque dicho valor no se diferenció de Finca del Inca ( $31,4^{\circ}\text{C}$ ). El menor registro promedio de *T* mínima fue similar entre los tres sitios, aunque el valor de Finca Clement fue el menor ( $0,6^{\circ}\text{C}$ ) y de Finca del Inca el mayor valor ( $2,8^{\circ}\text{C}$ ). Tampoco se registraron diferencias significativas entre los sitios de observación en cuanto a sus temperaturas medias anuales, aunque el menor valor se registró en Finca Salentein; el valor promedio de las tres fincas es de  $15,6^{\circ}\text{C}$ . El mayor registro anual de precipitaciones le correspondió a Finca Clement (242 mm) y a Finca Salentein (225 mm) sin diferencias estadísticas entre ellas. En Finca del Inca se registró significativamente la menor precipitación anual, con un 50% menos de lluvia en comparación con los restantes sitios.

Tabla 2.4. Temperaturas ( $T$ ) máximas, mínimas y medias, y precipitación anual para cada sitio de observación.

| Sitio de observación | Estación meteorológica | $T$ máxima [°C] | $T$ mínima [°C] | $T$ media [°C] | Precipitación [mm] |
|----------------------|------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|
| Finca Clement        | Las Catitas            | 32,6 a          | 0,6 a           | 16,2 a         | 242 a              |
| Finca del Inca       | Russell                | 31,4 ab         | 2,8 a           | 16,0 a         | 118 b              |
| Finca Salentein      | Agua Amarga            | 30,2 b          | 1,2 a           | 14,6 a         | 225 a              |

Fuente: Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas Mendoza, 2014. Los datos corresponden a promedios desde el año 2007 hasta el 2013. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre fincas (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

En general, Finca Clement registra la mayor  $T$  máxima y la menor  $T$  mínima durante todo el año, por lo tanto manifiesta la mayor amplitud térmica de las fincas evaluadas (Fig. 2.1). Finca Salentein registra menores temperaturas máximas y mínimas que Finca del Inca. En el histograma de precipitaciones se observa la mayor acumulación de precipitaciones en los meses estivales. El registro de precipitaciones varía a lo largo del año, concentrando los mayores volúmenes en los meses de primavera y verano. Finca Salentein, a diferencia de los dos restantes sitios, presenta elevados registros de precipitación en los meses invernales.

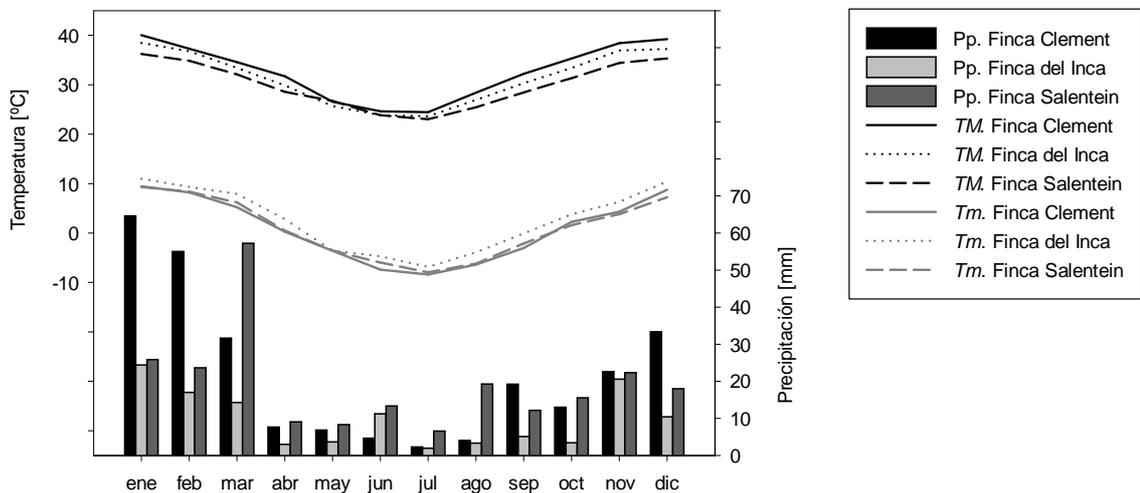


Fig. 2.1. Temperaturas máximas ( $TM$ , líneas negras) y mínimas ( $Tm$ , líneas grises), y precipitación ( $Pp$ , barras) mensual en cada sitio de observación.

## Cobertura de suelo

En la Fig. 2.2 se puede observar cómo se distribuye la cobertura vegetal, el rastrojo y el suelo descubierto en cada uno de los sitios de observación. El viñedo de Finca Salentein es el que muestra el mayor porcentaje de cobertura vegetal (73%). En Finca Clement se registró un porcentaje de cobertura vegetal de 52% y Finca del Inca mostró los menores porcentajes de cobertura verde con un promedio de 37%. Este último sitio, registró un 18% de piedra en la superficie del suelo y elevado porcentaje de rastrojo vegetal (40%).

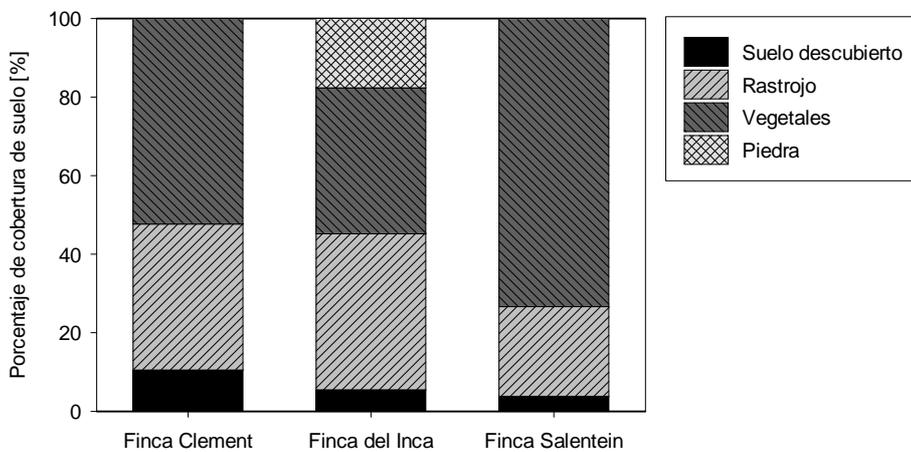


Fig. 2.2. Porcentaje de cobertura de suelo (con vegetales, rastrojo, piedra o suelo descubierto) en cada sitio de observación. Valores promedio correspondientes a diciembre 2010, mayo 2012 y octubre 2012.

En los sectores evaluados de Finca Clement y Finca Salentein se encontró la mayor variabilidad en el número de especies, identificando 21 y 22 especies respectivamente. En Finca del Inca sólo se encontraron 13 especies diferentes.

En general, en todos los interfilares evaluados de las 3 fincas en estudio la mayor proporción corresponde a especies nativas, de hábito herbáceo y perenne, principalmente de la clase monocotiledóneas (Fig. 2.3). Los valores fueron similares para todos los sitios de observación, aunque en Finca del Inca se registra mayor proporción de especies nativas (98%) y de hábito perenne (97%) comparado con los dos restantes sitios. En Finca Salentein se registró la mayor proporción de especies exóticas (17%), dicotiledóneas (22%) y arbustivas (5%), comparado con Finca Clement (7, 16 y 3%, respectivamente) y Finca del Inca (2, 14 y 3%, respectivamente).

Las especies bajo evaluación en Finca Clement representaron más del 60% de la cobertura vegetal presente en los interfilares. En ella la contribución específica por presencia (CSP) de la especie *S. leucopila* fue de 44% (especie más abundante) y para *P. phillippianum* fue de 19% (Fig. 2.4). Sólo estas dos especies resultaron ser dominantes en la cobertura vegetal en esta finca, ya que las mismas presentaron CSP mayor al 10%.

En Finca del Inca la suma de la CSP de las especies bajo evaluación fue mayor al 30% de la cobertura total. *D. californica* constituyó el 21% de la cobertura vegetal y *L. dubia* el 12% de los interfilares evaluados (Fig. 2.4). Además de estas dos especies, *Aristida mendocina* Phil. (estatus nativa) fue dominante (CSP 41%) en la cobertura vegetal.

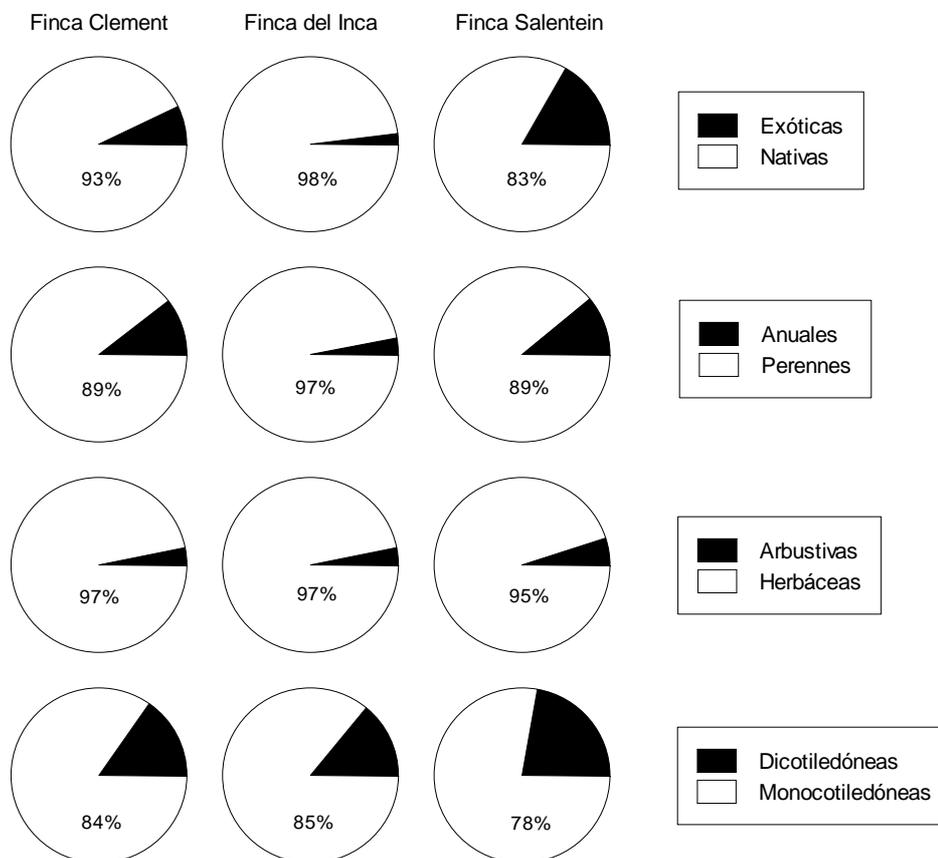


Fig. 2.3. Porcentaje de cobertura vegetal compuesta por cada tipo de especie (estatus, hábito, clase) y para cada sitio de observación. Valores promedio correspondientes a diciembre 2010 y octubre 2012.

La cobertura vegetal de los interfilares bajo evaluación en Finca Salentein estaba compuesta por un 30% de las especies bajo evaluación. La CSP de *S. cryptandrus* y de *N. tenuis* fue de 15% para cada una (Fig. 2.4). El restante 70% de la cobertura vegetal se

repartió entre 10 especies diferentes. De ellas, sólo *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack. (estatus endémica) fue dominante en la cobertura. Al inicio de las determinaciones, *P. napostaense* fue confundida con *N. tenuis*, pero luego de la consulta con especialistas se logró reconocer el error y establecer la diferencia entre ambas especies.

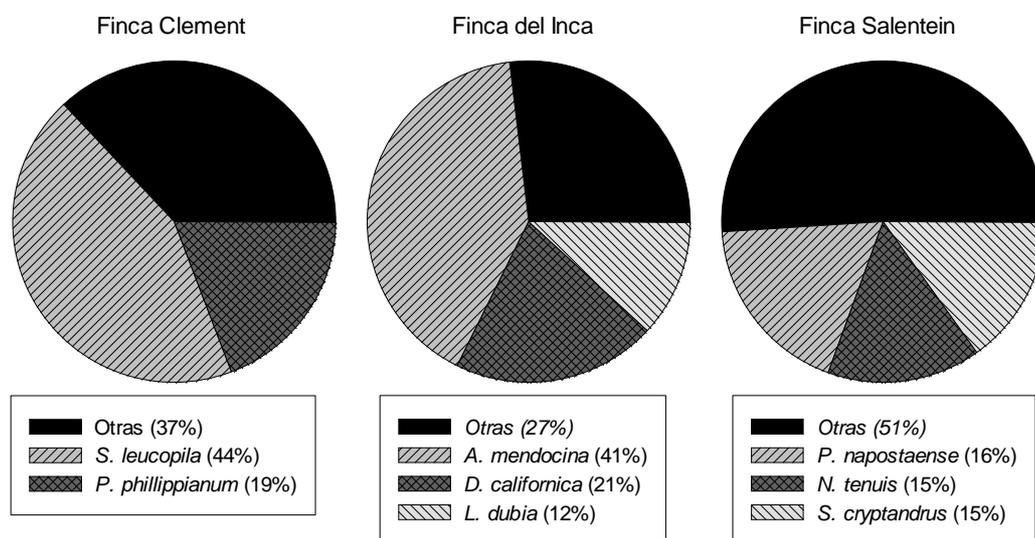


Fig. 2.4. Porcentaje de cobertura vegetal compuesta por las especies predominantes (>10%) en cada uno de los sitios de observación. Valores promedio correspondientes a diciembre 2010 y octubre 2012.

### Intercambio gaseoso

Tanto en Finca Clement como en Finca del Inca sólo se registró un efecto significativo de la época de medición sobre *PN*, *TN* y *EUA*; en cambio, en Finca Salentein el efecto de la interacción especie\*época sobre todas las variables evaluadas fue significativo (Tabla 2.5).

Durante la primavera, en el inicio del desarrollo vegetativo de las plantas, se registró un valor de *PN* promedio de  $7,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en Finca Clement y  $3,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en Finca del Inca (Fig. 2.5). Estos datos corresponden al promedio de las tres especies evaluadas en cada uno de los sitios. Durante el verano se obtuvieron los valores máximos de *PN* en ambos sitios; en Finca Clement el promedio registrado fue  $19,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y en Finca del Inca  $17,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Durante el otoño, en Finca Clement se registró el menor valor de *PN* ( $2,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y en Finca del Inca el valor fue estadísticamente similar al registrado durante la primavera ( $2,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Tabla 2.5. Resultados del análisis de la varianza para la transpiración neta (*TN*), la fotosíntesis neta (*PN*) y la eficiencia de uso de agua (*EUA*) en cada sitio de observación.

| Variable dependiente |                        | <i>TN</i> |       |         | <i>PN</i> |        |         | <i>EUA</i> |       |        |
|----------------------|------------------------|-----------|-------|---------|-----------|--------|---------|------------|-------|--------|
| Sitio de observación | Fuente de variabilidad | gl        | CM    | F       | gl        | CM     | F       | gl         | CM    | F      |
| Finca Clement        | Especie (Sp)           | 2         | 0,02  | 0 ns    | 2         | 5,6    | 0 ns    | 2          | 2,5   | 0 ns   |
|                      | Época (Ep)             | 2         | 298,4 | 396**** | 2         | 4060,8 | 354**** | 2          | 113,4 | 14**** |
|                      | Sp*Ep                  | 4         | 1,7   | 2 ns    | 4         | 26,3   | 2 ns    | 4          | 2,8   | 0 ns   |
|                      | Error                  | 142       | 0,8   |         | 139       | 11,5   |         | 120        | 8,3   |        |
|                      | CV [%]                 |           | 28,0  |         |           | 35,0   |         |            | 40,5  |        |
| Finca del Inca       | Sp                     | 2         | 0,6   | 1 ns    | 2         | 8,3    | 1 ns    | 2          | 12,6  | 2 ns   |
|                      | Ep                     | 2         | 210,3 | 191**** | 2         | 4114,3 | 325**** | 2          | 311,4 | 40**** |
|                      | Sp*Ep                  | 4         | 0,04  | 0 ns    | 4         | 17,5   | 1 ns    | 4          | 17,1  | 2 ns   |
|                      | Error                  | 152       | 1,1   |         | 152       | 12,7   |         | 137        | 7,8   |        |
|                      | CV [%]                 |           | 36,3  |         |           | 38,8   |         |            | 39,1  |        |
| Finca Salentein      | Sp                     | 2         | 21,3  | 9****   | 2         | 105,6  | 7**     | 2          | 9,6   | 2 ns   |
|                      | Ep                     | 2         | 867,0 | 374**** | 2         | 4551,4 | 309**** | 2          | 87,3  | 19**** |
|                      | Sp*Ep                  | 4         | 6,6   | 3*      | 4         | 496,7  | 34****  | 4          | 46,1  | 10**** |
|                      | Error                  | 175       | 2,3   |         | 170       | 14,7   |         | 147        | 4,5   |        |
|                      | CV [%]                 |           | 33,2  |         |           | 43,5   |         |            | 47,1  |        |

CV: coeficiente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; F: estadístico; nivel de significancia: \*\*\*\* ( $p < 0,001$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), \* ( $p < 0,05$ ), ns ( $p > 0,05$ ).

Las diferencias registradas en cuanto a la *TN* y la *EUA* por época de medición fueron similares en ambos sitios (Fig. 2.5). Los mayores valores de *TN* se registraron en verano y los menores en el otoño en ambos sitios. Para el caso de la *EUA* los valores verano fueron los más elevados y se diferenciaron de los registrados durante el otoño y la primavera en las dos fincas. La *TN* en Finca Clement fue 3,3 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en verano, 5,5 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> durante la primavera y 0,9 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en el otoño; en cambio, para Finca del Inca los valores fueron 1,9; 4,7 y 1,8 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. La *EUA* promedio en Finca Clement fue de 8,7 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O en verano y 6,0 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O en primavera y otoño; y en Finca del Inca fueron 4,7 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O en primavera, 9,3 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O en verano y 5,6 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O en otoño.

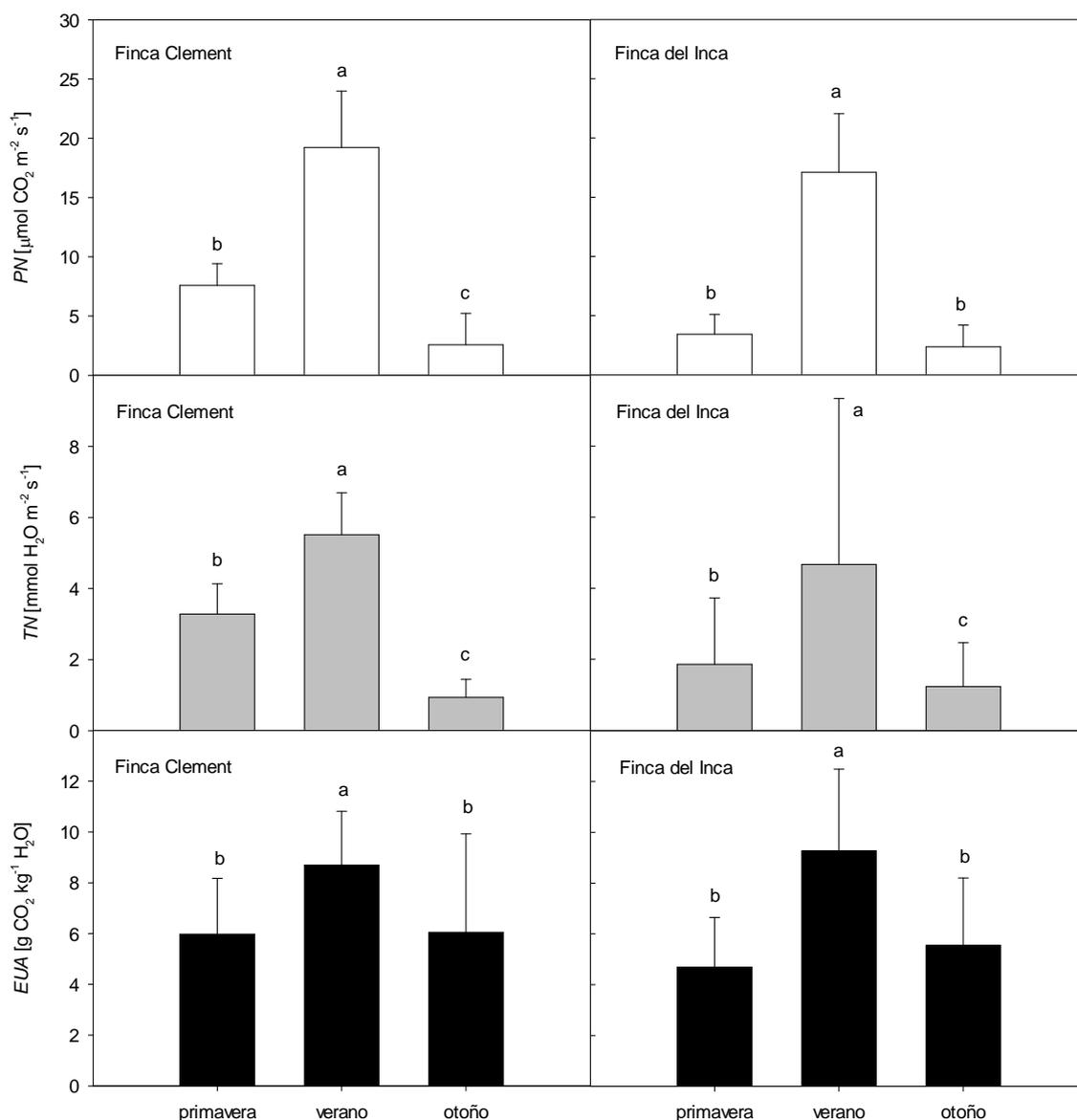


Fig. 2.5. Fotosíntesis neta (*PN*), transpiración neta (*TN*) y eficiencia de uso de agua (*EUA*) para cada época de medición y en cada sitio de observación. Valores promedio + DE;  $n = 10$  en primavera y  $n = 20$  en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ).

En Finca Salentein, a diferencia de los restantes sitios, se registró un efecto significativo de la interacción de la especie y la época de medición durante el análisis de la varianza de *PN*, *TN* y *EUA* (Tabla 2.5). Los resultados del análisis comparativo de las especies particionado por la época de medición se puede observar en la Fig. 2.6.

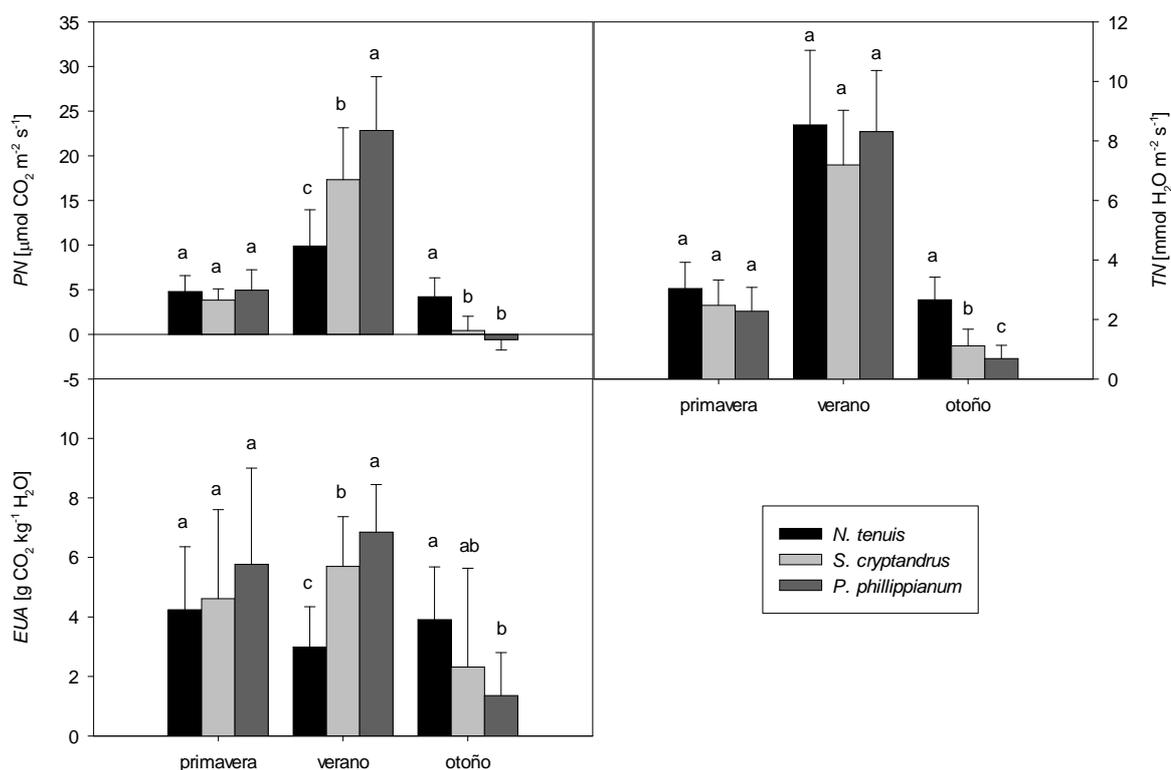


Fig. 2.6. Fotosíntesis neta ( $PN$ ), transpiración neta ( $TN$ ) y eficiencia de uso de agua ( $EUA$ ) para cada especie evaluada por época de medición en Finca Salentein. Valores promedio + DE;  $n = 10$  en primavera y  $n = 20$  en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre especies para cada época de medición (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ).

En este sitio y durante la primavera no se registró diferencia significativa en la  $PN$  de las tres especies evaluadas ( $p 0,291$ ) (Fig. 2.6). Los valores medios  $PN$  obtenidos fueron 4,8, 3,8 y 4,9  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para *N. tenuis*, *S. cryptandrus* y *P. phillippianum*, respectivamente. En cambio, durante las dos siguientes épocas de medición las especies se diferenciaron entre sí ( $p < 0,001$ ). Durante el verano *P. phillippianum* logró la mayor  $PN$  (23,0  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), *S. cryptandrus* registró un valor intermedio (17,4  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y *N. tenuis* el menor valor (10,3  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Los registros fueron muy diferentes durante el otoño, ya que *N. tenuis* registró la mayor  $PN$  promedio (4,2  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), prácticamente igualando el valor obtenido durante la primavera. Esto es debido a que esta especie posee una etapa de crecimiento activo que abarca las etapas otoño, invierno y primavera. Por último, las restantes dos especies obtuvieron  $PN$  estadísticamente similares y menores a *N. tenuis*. *P. phillippianum* registró una  $PN$  negativa (-0,59  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), por lo tanto esta especie, con ciclo de crecimiento estival, no se encontraba fijando  $\text{CO}_2$  durante dicha época de medición, sino más bien liberando tal gas.

En Finca Salentein la *TN* fue similar entre especies durante la primavera y el verano, aunque hubo diferencias entre ellas durante el otoño (Fig. 2.6). El registro promedio de *TN* de las tres especies fue de 2,6 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en primavera y 8,0 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en verano. Durante el otoño *N. tenuis* registró la *TN* (2,7 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), *S. cryptandrus* un valor intermedio (1,1 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y *P. phillipianum* el menor valor de *TN* (0,7 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

En cuanto a la *EUA*, las especies evaluadas en Finca Salentein fueron similares en cuanto a las mediciones realizadas durante la primavera ( $p > 0,403$ ), con un promedio de 4,9 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O (Fig. 2.6). En cambio, durante el verano y el otoño se registraron diferencias significativas entre las especies evaluadas ( $p < 0,001$  y  $p > 0,029$ , respectivamente). En el verano, *P. phillipianum* registró la mayor *EUA* (6,9 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O) y *N. tenuis* la menor (3,0 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O), *S. cryptandrus* registró un valor intermedio (5,7 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O). En cambio, durante el otoño, *N. tenuis* registró el mayor valor de *EUA* (3,9 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O), aunque no se diferenció de *S. cryptandrus* (2,3 g CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O).

En ninguna de las épocas de medición y sitios evaluados se encontró una correlación significativa entre el *CHS* al momento de las mediciones y *PN* y *TN* de todas las especies (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Resultados del análisis de correlación (valor del coeficiente de Pearson y nivel de significancia) entre el contenido hídrico del suelo y la fotosíntesis neta (*PN*) y la transpiración neta (*TN*), según el sitio de observación y la época de medición.

| Sitio de observación |           |           | Época de medición |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|
|                      | <i>TN</i> | <i>PN</i> |                   | <i>TN</i> | <i>PN</i> |
| Finca Clement        | 0,23 ns   | 0,16 ns   | primavera         | 0,64 ns   | 0,39 ns   |
| Finca del Inca       | 0,03 ns   | 0,39 ns   | verano            | 0,32 ns   | 0,52 ns   |
| Finca Salentein      | 0,13 ns   | 0,22 ns   | otoño             | 0,03 ns   | 0,02 ns   |

Nivel de significancia: ns ( $p > 0,05$ ).

Al evaluar el *CHS* en función del sitio de observación y la época de medición se registró una interacción significativa de ambas variables (Tabla 2.7). En cuanto a las muestras de suelo tomadas durante el otoño, el *CHS* fue estadísticamente similar en los tres sitios (Fig. 2.7). Durante la primavera, el *CHS* de Finca Salentein fue significativamente mayor que el resto de los valores; y en Finca del Inca se registró el menor valor.

Finalmente, en el verano, el mayor *CHS* se registró en Finca Salentein y este valor fue significativamente mayor a los dos restantes sitios, los cuales no se diferenciaron entre ellos.

Tabla 2.7. Resultados del análisis de la varianza del contenido hídrico del suelo.

| Fuente de variabilidad | gl | CM    | F      |
|------------------------|----|-------|--------|
| Sitio                  | 2  | 39,55 | 18 *** |
| Época                  | 2  | 22,25 | 10 *** |
| Sitio*Época            | 4  | 15,13 | 07 *** |
| Error                  | 36 | 02,17 |        |
| CV [%]                 |    | 31,60 |        |

CV: coeficiente de variación; gl: grados de libertad; CM: cuadrados medios; F: estadístico; nivel de significancia: \*\*\* ( $p < 0,001$ ). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre sitios de observación (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

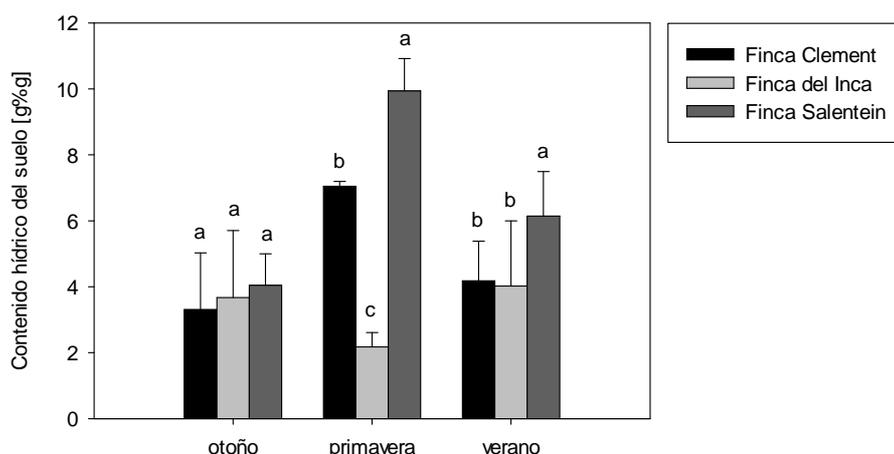


Fig. 2.7. Contenido hídrico del suelo en los sitios de observación para cada época de medición; valores promedio + DE;  $n = 3$  en primavera y  $n = 6$  en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre sitios para cada época de medición (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

*P. phillippianum* fue la única especie presente en los tres sitios de observación. Se realizó una comparación de sus flujos de intercambio gaseoso entre los sitios y épocas de medición y se registró una interacción significativa entre ambas variables ( $p < 0,001$ ). Por lo tanto, se realizó un análisis comparativo de los sitios particionado por época de medición (Fig. 2.8). En Finca Salentein se registró la mayor *PN* durante la época de verano y la menor *PN* durante el otoño, siendo éste el único valor negativo de fotosíntesis. Los

restantes dos sitios de observación obtuvieron valores similares de *PN* en primavera y otoño. En Finca del Inca se registró en verano la menor *TN* y en otoño el mayor valor. En la época de verano la *TN* registrada fue más elevada en Finca Salentein.

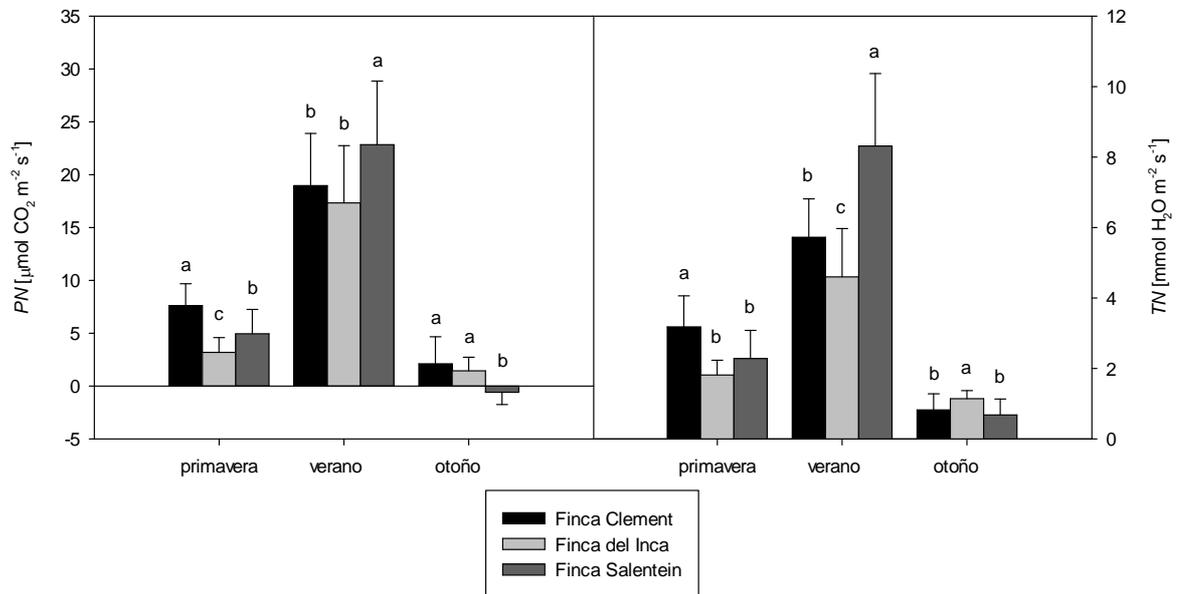


Fig. 2.8. Fotosíntesis neta (*PN*) y transpiración neta (*TN*) de *P. philippianum* en cada sitio de observación para cada época de medición; valores promedio + DE;  $n = 10$  en primavera y  $n = 20$  en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre especies para cada época de medición (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ).

*D. californica* sólo fue evaluada en Finca Clement y Finca del Inca. Durante la comparación de *PN* y *TN* se encontró una interacción significativa entre el sitio y la época de medición. ( $p < 0,001$ ). En la Fig. 2.9 se muestra los resultados del análisis comparativo de los sitios particionado por época de medición. Allí se observa que sólo hacia el final de la época de crecimiento (otoño) las determinaciones de *PN* fueron similares. En Finca Clement, durante primavera y verano, se registraron los mayores valores de *PN*. El mayor registro de *TN*, durante la primavera, le correspondió a Finca Clement, durante el otoño a Finca del Inca y durante el verano los registros fueron similares en ambos sitios. La diferencia significativa observada en la *TN* de *D. californica* creciendo en ambos sitios durante la primavera coincide con el registro de precipitación. En Finca del Inca se observó la menor precipitación (Fig. 2.1) y la menor *TN* (Fig. 2.9).

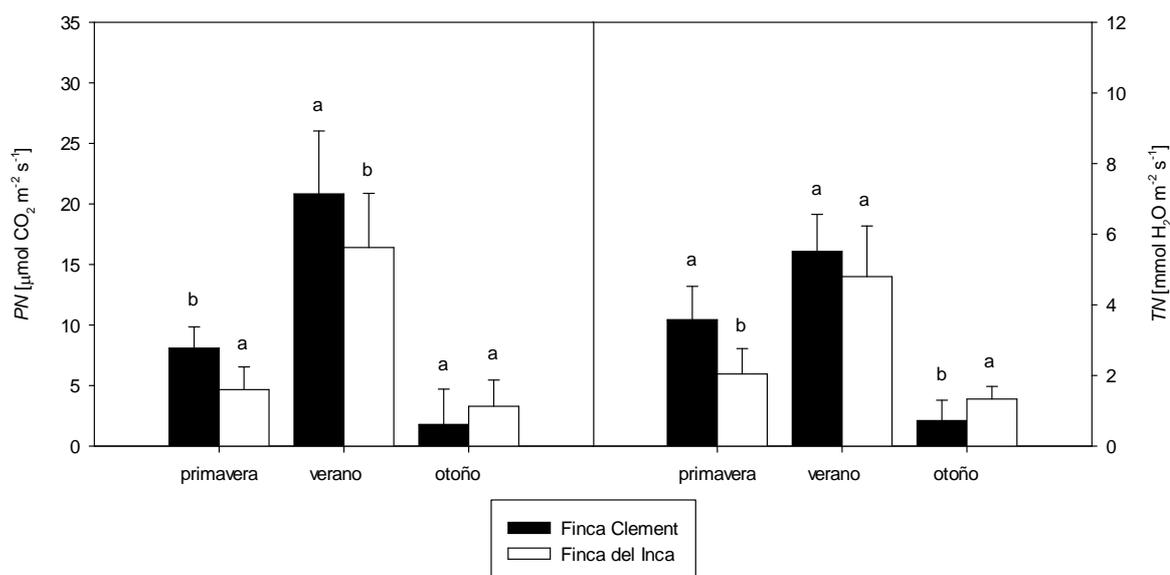


Fig. 2.9. Fotosíntesis neta (PN) y transpiración neta (TN) de *D. californica* en cada sitio de observación para cada época de medición; valores promedio + DE;  $n = 10$  en primavera y  $n = 20$  en verano y otoño. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre especies para cada época de medición (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ).

## Discusión

Las zonas vitícolas evaluadas fueron: oasis Este de Mendoza (Finca Clement), zona alta del Río Mendoza (Finca del Inca) y Valle de Uco (Finca Salentein). Las características del suelo y algunas condiciones climáticas son diferentes entre ellas (Catania *et al.*, 2012); como así también las características de la cobertura vegetal presente. Los tres sitios seleccionados mostraron un suelo con textura arenosa con muy bajo contenido de N.

La  $T$  mínima que corresponde a Finca Clement fue el menor registro anual promedio de los tres sitios evaluados. Las  $T$  media y máxima fueron similares a los registros de los restantes sitios. La precipitación media anual fue significativamente mayor que en Finca del Inca. El suelo de este viñedo registró muy alto contenido de P, el menor contenido de N y la mayor salinidad del suelo de las tres fincas. Los interfilares evaluados registraron elevado porcentaje de cobertura vegetal compuesta por especies nativas; y sólo dos de ellas eran dominantes: *S. leucopila* y *P. phillippianum*. Luego de más de 10 años

desde que se implantó el cultivo de vid, el suelo no ha sido roturado, por lo tanto *S. leucopila* ha liderado entre las demás especies.

En Finca del Inca el registro de precipitación fue el más bajo de las 3 estaciones meteorológicas evaluadas. El contenido de P fue el más bajo de los tres sitios muestreados y la salinidad se encontró entre las más altas junto con Finca Clement. A diferencia de los dos restantes viñedos, en éste se encontró elevada presencia de piedras o canto rodado tanto en la superficie del suelo como en profundidad. Dicha característica es inherente al sitio, tal como ha sido reportado por otros autores (Romanella, 1957). La presencia de piedras o gravas afectan las propiedades de almacenaje y retención de agua en el suelo (Pérez Valenzuela, 1999). En este sitio se registró el menor porcentaje de cobertura vegetal en suelo, con el menor número de especies presentes, en su mayoría nativas y perennes; las especies dominantes eran: *D. californica*, *L. dubia*, *A. mendocina* las condiciones de extrema sequía en estos sitios interfilares, con bajas precipitaciones y baja retención de agua en el suelo, sólo permiten el crecimiento de algunas especies de bajo requerimiento hídrico adaptadas a dichas condiciones. En concordancia, en este sitio se registró la mayor proporción de especies nativas que en las restantes fincas.

De los tres sitios evaluados, en Finca Salentein se observó la menor salinidad y altas concentraciones de P y K en el suelo. Los suelos con riego por goteo se salinizan paulatinamente hacia el centro del interfilare (Hanson *et al.*, 2006). Es probable que la menor salinidad de suelo se deba a que esta finca tiene menos años de riego por goteo con respecto a los restantes sitios, además el agua que utilizan para riego es menos salina (0,4 dS m<sup>-1</sup>, con respecto a 1,0 dS m<sup>-1</sup> en Finca del Inca y 1,8 dS m<sup>-1</sup> en Finca Clement). Las temperaturas máximas, mínimas y medias registraron valores promedio, similares a los restantes sitios. La precipitación media anual fue una de las más elevadas; en concordancia, se registró el mayor contenido de *MOS* y el mayor porcentaje de cobertura vegetal. Villagra *et al.* (2011) aseguran que los pastos nativos de las zonas áridas de Mendoza crecen en función de las precipitaciones. El mantenimiento de la cobertura vegetal en los interfilares evaluados dependería del aporte de agua proveniente de las lluvias; ya que la disponibilidad de agua en los interfilares de viñedos con riego por goteo es baja (Logan, 2009). De acuerdo con el elevado número de especies presentes, en este sitio se registró la mayor proporción de especies exóticas, dicotiledóneas y arbustivas. A pesar de ello, las

especies dominantes en la cobertura vegetal fueron: *S. cryptandrus*, *N. tenuis* y *P. napostaense*, gramíneas nativas y perennes.

Tanto en Finca Clement como en Finca del Inca no se registraron diferencias entre los flujos de intercambio gaseoso de las especies evaluadas. En general, los mayores valores de *PN* y *TN* se registraron durante las mediciones realizadas en verano y los menores durante el otoño. Esto es debido a que todas las especies evaluadas en ambos sitios eran gramíneas perennes con ciclo de crecimiento estival. Las diferencias entre ellas, en cuanto a *PN* y *TN*, no fueron estadísticamente diferentes al menos durante las determinaciones realizadas.

En Finca Salentein se registraron diferencias significativas en el intercambio gaseoso de las especies evaluadas, las cuales estuvieron en concordancia con la época de medición. En este caso se evaluaron dos especies  $C_4$  de ciclo estival (*S. cryptandrus* y *P. phillippianum*) y una especie  $C_3$  de ciclo otoño – invierno – primaveral (*N. tenuis*). En primavera, cuando las especies estivales iniciaban su ciclo vegetativo y la especie invernal se encontraba finalizando el suyo, los valores de *PN* y *TN* fueron similares para todas las plantas. *S. cryptandrus* y *P. phillippianum* registraron sus mayores flujos de intercambio gaseoso durante el verano y *N. tenuis* durante el otoño. Hacia el final de la época de crecimiento, *P. phillippianum* registró significativamente el menor valor de *PN*. Dicho valor fue negativo, por lo tanto esta especie ya había finalizado su ciclo de crecimiento y se encontraba en su etapa de senescencia. *N. tenuis* registró alta *TN* y baja *PN*, esta especie  $C_3$  es menos eficiente en la fijación de  $CO_2$  que las restantes especies  $C_4$  evaluadas (Larcher, 2003). Tal como aseguran algunos autores, altos valores de *PN* y bajos valores de *TN* asegurarían elevadas tasas de crecimiento y por lo tanto, elevada producción de biomasa (Lambers *et al.*, 2008). Inversamente, otros autores indican que altos valores de *PN* medidas en hoja no siempre están asociados con elevada producción de biomasa en ciertas especies; sino que depende de las condiciones ambientales, la estructura de la canopia, la respiración, entre otras (Poorter y Lambers, 1991; Poorter y Pothmann, 1992; Reich, 1998; Greco y Cavagnaro, 2005). La especie  $C_3$  registró elevada *TN* durante todo su ciclo de crecimiento, lo que revela un mayor consumo de agua y una menor *EUA* comparado con las restantes dos especies (a excepción del otoño cuando su *PN* es máxima) (Lambers *et al.*, 2008).

Las mediciones de intercambio gaseoso no fueron correlacionadas significativamente con el contenido hídrico del suelo (*CHS*) en los diferentes sitios de observación, ni las distintas épocas de medición, a pesar de que nos encontramos bajo un régimen de precipitaciones del tipo monzónico. Contrariamente, en los sitios de observación se registraron regímenes pluviométricos diferentes y *CHS* que variaron entre los sitios según la época de medición. Muchos procesos metabólicos en la planta son más sensibles a la disminución del contenido hídrico del suelo (o al aumento del estrés hídrico) que *PN* y conductancia estomática, tal como la elongación celular y la síntesis de proteínas (Lambers *et al.*, 2008). Es por ello, que cambios pequeños en el contenido hídrico del suelo no se correlacionaron con los flujos de intercambio gaseoso de las especies evaluadas.

En general, en Finca Salentein se registraron los mayores *CHS*; aunque, durante el otoño, tal diferencia no fue estadísticamente significativa. Durante la época de primavera, se observa una gran diferencia entre Finca del Inca y los restantes dos sitios. El registro pluviométrico durante el mes en el cual se tomaron las mediciones (octubre 2012) fue de 6 mm en Finca del Inca, 17 mm en Finca Salentein y 19 mm en Finca Clement. Esta diferencia en el registro de precipitaciones pudo haber influenciado en el *CHS* determinado en el transcurso de dicho mes. Sumado a ello, de debe tener en cuenta que la capacidad de retención de agua del suelo muestreado en Finca del Inca es mucho menor a los restantes sitios debido a la presencia abundante de piedras.

*P. phillippianum* se encontró presente en los tres sitios de observación. Además de ella, las especies *L. dubia*, *S. leucopila*, *D. californica* y *S. cryptandrus* han sido encontradas presentes en matorrales desde la planicie a 560 m.s.n.m., hasta el piedemonte de Mendoza a 1800 m.s.n.m. (Cavagnaro, 1988). *N. tenuis* fue la única de las especies evaluadas presente en el piedemonte mendocino a partir de los 940 y hasta los 1800 m.s.n.m. (Cavagnaro, 1988).

*P. phillippianum* y *D. californica*, que fueron evaluadas en más de un sitio de observación, registraron valores de *PN* distintos cuando crecieron en diferentes sitios. A pesar de que los momentos de medición fueron los mismos, las condiciones del suelo y clima de cada sitio de observación fueron diferentes. Por ejemplo, la menor *TN* observada en *D. californica* creciendo en Finca del Inca durante la primavera coincide con la menor precipitación que corresponde a dicho sitio, cuando se la compara con los registros

correspondientes a Finca Clement. Esto se debe a la correlación directa entre la precipitación y el crecimiento de las especies nativas (Dalmasso, 1994; Villagra *et al.*, 2011). Dicha diferencia no ocurrió entre ambas fincas durante el verano para la misma especie.

Las especies nativas de zonas áridas tienen la capacidad de ajustar su metabolismo y sobrevivir bajo condiciones ambientales diferentes (Gibson, 1998); su plasticidad es una ventaja comparativa para adaptarse y sobrevivir a cambios en el ambiente (Sage y McKown, 2006).

## **Conclusiones**

Los tres viñedos evaluados se diferenciaron entre ellos en cuanto a las características de la cobertura vegetal presente en sus interfilares. Los mismos pertenecen a zonas vitícolas diferentes, con características de suelo y condiciones climáticas diferenciales. En cada sitio de observación se encontró una cobertura vegetal adaptada a sus condiciones edáficas, climáticas y de manejo de suelo. Por lo tanto, las especies evaluadas en estos sitios constituyen una alternativa para su uso como cobertura vegetal en viñedos con riego por goteo.

Comparado con los restantes sitios de observación, el sitio evaluado en Finca Clement registró un valor intermedio de porcentaje de cobertura vegetal. Aunque sólo dos especies fueron dominantes en la cobertura vegetal, este sitio registró la mayor variabilidad en el número de especies presentes y uno de los mayores porcentajes de especies nativas. El suelo presentó la textura más arenosa y era extremadamente pobre en su contenido de *MOS*. El registro de precipitaciones en este sitio fue elevado al igual que en Finca Salentein, aunque el *CHS* fue menor en Finca Clement debido a otras condiciones de suelo (textura más arenosa, muy poca *MOS*) y del clima (temperaturas más elevadas). En este sitio se registró una de las temperaturas mínimas más bajas y la mayor amplitud térmica a lo largo del año.

En los interfilares evaluados en Finca del Inca se registró el menor porcentaje de cobertura vegetal, la mayor presencia de rastrojo, presencia de piedras tanto en la superficie del suelo como en profundidad y la menor variabilidad en cuanto al número de especies presentes (principalmente nativas y perennes). El suelo contenía muy baja cantidad de N, una cantidad media de P (la menor de los tres sitios), elevada salinidad y era extremadamente pobre en *MOS*. En este sitio se registró la mayor temperatura mínima absoluta promedio y la menor precipitación anual.

En Finca Salentein se registró el mayor porcentaje de cobertura vegetal de los tres sitios, elevada variabilidad de especies presentes y la mayor proporción de especies exóticas, dicotiledóneas y arbustivas. El suelo es pobre en el contenido de *MOS*, pero fue el mayor registro de los tres sitios. Además, este suelo presentó la menor salinidad y el mayor contenido de N total, aunque este valor fue igualmente muy bajo. En este sitio se registró uno de los mayores valores de precipitación anual que coincidió con los mayores valores de *CHS* al momento de las mediciones de intercambio gaseoso.

Cuando se compararon los flujos de intercambio gaseoso de especies  $C_4$  con el mismo ciclo de crecimiento, sólo se registraron diferencias significativas entre las épocas de medición (*PN* verano > primavera > otoño), tal como sucedió en Finca Clement y Finca del Inca. En cambio, cuando se compararon dos especies  $C_4$  de ciclo estival con una especie  $C_3$  de ciclo invernal, el intercambio gaseoso fue distinto. Las especies con ciclo estival registraron mayor actividad fisiológica en los meses de verano y, por el contrario, la especie invernal registró mayor intercambio gaseoso durante las mediciones de otoño. Ambos tipos de especies obtuvieron los mismos registros de *PN* y *TN* durante la primavera.

*P. phillippianum* y *D. californica* son especies con buenas perspectivas para su uso como cobertura vegetal, ya que registraron elevada *PN*; aunque esto no aseguraría una elevada producción de biomasa y aporte de materia orgánica al suelo. La presencia de estas especies en más de un sitio de observación podría significar una buena plasticidad para su adaptación a diferentes condiciones ambientales y características de suelo.

*N. tenuis*, especie  $C_3$  con crecimiento otoño – invierno – primaveral, registró baja *PN* durante el verano comparada con las restantes especies evaluadas ( $C_4$  de ciclo estival). Durante el otoño y la primavera *N. tenuis* tiene ventajas frente a las restantes especies, ya

que registra elevados valores de *EUA*, *PN* y *TN*, lo cual asegura altas tasas de crecimiento. El elevado registro de *TN* durante todo el ciclo de crecimiento de esta especie confirman una menor *EUA* (excepto durante el otoño). Esta especie puede ser muy importante para utilizarla combinada con otras especies estivales, ya que su ciclo de crecimiento en contra-estación permitiría mantener el suelo con cobertura vegetal durante todo el año.

# RESPUESTA DE LA FOTOSÍNTESIS AL CAMBIO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

## Introducción

Estudios de cambio climático predicen para el año 2080 y para la región oeste de la Argentina el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférica de 530 a 720 ppm, el aumento del volumen total de lluvias en menos eventos más severos, el incremento de la temperatura media anual entre 1,2 y 4°C, la disminución de la precipitación nival en la cordillera de los Andes y con ello, la reducción del volumen de agua en los ríos (Hulme y Sheard, 1999; República Argentina, 2007; Labraga y Villalba, 2009). El aumento de temperatura generaría condiciones de evaporación más elevadas (IPCC, 2007), con menor disponibilidad de agua para riego y por lo tanto, mayor déficit hídrico en los oasis de la provincia de Mendoza. Este problema toma mayor envergadura si se tiene en cuenta el incremento de la demanda de agua debido al crecimiento poblacional de los países en desarrollo y con ello, la disminución del agua disponible para la agricultura (Vorosmarty *et al.*, 2000).

Desde hace ya varias décadas, las predicciones de cambio climático son objeto de investigación en distintos países, con el propósito de verificar su efecto sobre los organismos vivos (Helms *et al.*, 1996; Bale *et al.*, 2002; Garrett *et al.*, 2006; Hutchinson *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2013), sus interacciones (Stiling y Cornelissen, 2007) y los ecosistemas en general (Walther *et al.*, 2002; Lal, 2004; Lioubimtseva y Adams, 2004; Parmesan, 2006).

El secuestro de carbono en los suelos podría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y limitar los efectos del cambio climático previstos globalmente (IPCC, 2007). En suelos agrícolas de ambientes áridos y semi-áridos, a pesar de ser un recurso con capacidad limitada (Lal,

2004), se podría aumentar el secuestro de carbono disminuyendo el tiempo de barbecho (suelo descubierto), realizando rotaciones en vez de monocultivos, usando cultivos de cobertura, disminuyendo la intensidad y la frecuencia de labranzas, aumentando la frecuencia de uso de enmiendas orgánicas en el suelo, entre otros (Lal, 2004; Hutchinson *et al.*, 2007). El uso de coberturas vegetales en los interfilares de cultivos perennes (*e.g.* viñedos) podría ser beneficioso para aumentar la acumulación de carbono orgánico en el suelo (Lal, 2004; Lal, 2011).

Las especies nativas de Mendoza poseen la capacidad de crecer y desarrollarse en ambientes áridos y semi-áridos donde la evapotranspiración diaria en los meses estivales puede ser de  $6 - 7 \text{ mm d}^{-1}$ , con temperaturas máximas promedio de  $34^{\circ}\text{C}$  y donde las precipitaciones sólo alcanzan los  $200 - 300 \text{ mm}$  anuales (DACC, 2014). Las especies nativas poseen adaptaciones de sus hojas para evitar las pérdidas de agua y maximizar la fotosíntesis neta (*PN*) (Gibson, 1998); además, poseen ciclos de crecimiento acoplados a las precipitaciones (Villagra *et al.*, 2011).

La *PN* puede ser afectada por la concentración de  $\text{CO}_2$ , por la intensidad de la luz y por la temperatura (Sharkey *et al.*, 2007), así como también por el contenido de agua disponible en el suelo o el grado de hidratación de la planta (Varela *et al.*, 2010). Las curvas de respuesta de la *PN* a distintos parámetros permiten desarrollar modelos de predicción de asimilación de  $\text{CO}_2$  de cultivos y de la vegetación natural (Xu y Baldocchi, 2003; Díaz-Espejo *et al.*, 2006) y podrían ser útiles para predecir efectos del cambio climático sobre la fotosíntesis (Sabaté *et al.*, 2002) y para evaluar la influencia de la sequía, las temperaturas extremas, la restricción de la luminosidad y la deficiencia de nutrientes sobre la capacidad fotosintética de las plantas (Wilson *et al.*, 2000; Schultz, 2003; Zhou *et al.*, 2004).

La respuesta fotosintética al aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  depende del tipo de especie del que se trate (Sharkey *et al.*, 2007). Las plantas del tipo  $\text{C}_3$  llevan a cabo un ciclo de fijación de  $\text{CO}_2$  que involucra la formación de un compuesto de 3 carbonos (ácido fosfoglicérico). Este proceso, denominado ciclo de Calvin, es catalizado por la enzima ribulosa-1,5-bifostato-carboxilasa/oxigenasa (Rubisco). Las plantas  $\text{C}_4$  fijan el  $\text{CO}_2$  en dos etapas: en la primera obtienen un compuesto de 4 átomos de carbono (ácido oxalacético) mediante la enzima PEP-carboxilasa en las células del mesófilo; y en la segunda el  $\text{CO}_2$  es

liberado en las células del haz de la vaina para continuar con el ciclo de Calvin, al igual que las plantas C<sub>3</sub>. La enzima Rubisco según la presión parcial de CO<sub>2</sub> en su sitio activo puede trabajar como carboxilasa u oxigenasa. Las plantas C<sub>3</sub>, cuya fotosíntesis depende exclusivamente del funcionamiento de esta enzima, fotorrespiran en condiciones de luz solar intensa y baja concentración de CO<sub>2</sub> (< 50 ppm) (Larcher, 2003). La fotorrespiración es un proceso que involucra el consumo de O<sub>2</sub> en detrimento de la fijación de CO<sub>2</sub> y la pérdida de energía. Las especies del tipo C<sub>4</sub>, mediante su mecanismo de fijación de CO<sub>2</sub> en dos etapas, aumentan la presión parcial de CO<sub>2</sub> en el sitio activo de la Rubisco y minimizan la actividad oxigenasa de dicha enzima (Varela *et al.*, 2010).

Numerosos estudios se han realizado con plantas creciendo bajo una atmósfera enriquecida con CO<sub>2</sub>, mediante métodos tal como FACE (*Free-Air Concentration Enrichment*) (Lewin *et al.*, 1994). En plantas creciendo durante dos años en una atmósfera con elevada concentración de CO<sub>2</sub> se observó una aclimatación de la *PN* con mínimas modificaciones (+15% en gramíneas C<sub>3</sub> y -2% en gramíneas C<sub>4</sub>) y una disminución consistente de la conductancia estomática (Lee *et al.*, 2001). Especies C<sub>4</sub> creciendo en competencia con otras especies mostraron la menor respuesta al enriquecimiento de la atmósfera con CO<sub>2</sub>, incluso con elevada disponibilidad de nutrientes (Poorter y Navas, 2003). Sage y McKown (2006) indican que las especies con ruta metabólica del tipo C<sub>4</sub> son menos fenotípicamente plásticas que las C<sub>3</sub>, lo cual puede haber influido en la restricción de la distribución de dichas especies alrededor del mundo.

El objetivo de este capítulo fue describir la respuesta de seis especies herbáceas nativas a modificaciones de ciertas condiciones ambientales, construir curvas de respuesta y predecir posibles cambios a nivel de eficiencia fotosintética e intensidad transpiratoria bajo un futuro escenario climático de temperaturas más elevadas, mayores niveles de CO<sub>2</sub> y condiciones de restricción hídrica.

## **Materiales y métodos**

### **Material vegetal**

Las seis especies herbáceas nativas bajo evaluación fueron: *Pappophorum phillippianum* Parodi (pasto amargo), *Digitaria californica* (Benth.) Henrard var. *californica* (pasto plateado), *Nassella tenuis* (Phil.) Barkworth (flechilla de invierno), *Leptochloa dubia* (Kunth) Nees (pata de ñandú), *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A. Gray (esporobolo) y *Setaria leucopila* (Scribn. & Merr.) K. Schum. (cola de zorro) (Zuloaga *et al.*, 2008).

### **Implementación y manejo**

Las especies seleccionadas se trasplantaron en macetas de 25 l, realizando 3 repeticiones para cada especie evaluada. Las macetas fueron rellenadas primero con una capa de 5 kg de grava y luego con 13 kg de suelo proveniente de la finca de INTA, EEA Mendoza ubicada en Luján de Cuyo. Este suelo fue previamente muestreado y caracterizado mediante análisis químico (Tabla 3.1). Las macetas fueron distribuidas completamente al azar en un sector especialmente acondicionado para ello dentro de la EEA Mendoza. Las plantas adultas (macollos) fueron recolectadas en sus zonas de origen, tres fincas con diferente clima vitícola (Catania *et al.*, 2012). Estas fincas fueron: Finca Clement ubicada en el este mendocino (distrito Alto Verde, departamento Santa Rosa), Finca del Inca ubicada en la zona alta del Río Mendoza (distrito Barrancas, departamento Maipú) y Finca Salentein en Valle de Uco (distrito Los Árboles, departamento Tunuyán).

Antes del inicio del ensayo, el suelo de las macetas fue lavado con riegos abundantes no sólo para provocar el lixiviado de las sales, sino también para favorecer el rápido establecimiento de las plantas. A pesar de que el suelo de las macetas al inicio del trasplante presentaba altos niveles de salinidad, la CE (conductividad eléctrica) al finalizar los ensayos fue de  $3,44 \pm 1,29 \text{ dS m}^{-1}$ . Luego, para su mantenimiento, las plantas fueron regadas una vez por semana durante los meses de verano, una vez cada 15 días durante la primavera y el otoño, y una vez por mes durante el invierno hasta asegurar capacidad de campo. El agua de riego provenía de pozo y era apta para el riego de cultivos; la misma tenía una CE de  $0,885 \text{ dS m}^{-1}$ , un RAS (relación de adsorción de sodio) de 0,45 con baja

peligrosidad sódica y un pH de 7,42 (muestra tomada en septiembre de 2012). Para asegurar un buen crecimiento de las plantas se realizaron dos fertilizaciones anuales en los meses de septiembre y marzo de 2011, 2012 y 2013. La misma se llevó a cabo con Nitrofoska® SL (Compo Agro, Chile) con una dosis de 25 ml en 5 l de agua por maceta, según las recomendaciones del fabricante. El fertilizante posee 10% de nitrógeno, 2% de fósforo asimilable, 6% de potasio soluble y 0,31% de magnesio, además de trazas de boro, manganeso, cobre, zinc, hierro, azufre, cobalto y molibdeno.

Tabla 3.1. Caracterización físico-química del suelo utilizado como sustrato en las macetas.

| Variable | Valor                   | Clasificación*         |
|----------|-------------------------|------------------------|
| VS       | 84 ml%g                 | Textura franco arenosa |
| CEes     | 23,1 dS m <sup>-1</sup> | Muy fuertemente salino |
| pH       | 7,44                    |                        |
| N        | 1064 ppm                | Alto                   |
| P        | 15,65 ppm               | Alto                   |
| K        | 190 ppm                 | Bueno                  |
| MOS      | 1,71%                   | Medianamente pobre     |

VS: volumen de sedimentación; CEes: conductividad eléctrica del extracto de saturación; pH del extracto de saturación; N: nitrógeno total; P: fósforo disponible; K: potasio intercambiable; MOS: materia orgánica del suelo.

\*Clasificación según Vallone (2005); Van Hoorn y Van Alphen (1994); Walkley y Black (1934).

### **Producción de biomasa y desarrollo fenológico**

Se realizó un seguimiento de la producción de biomasa aérea de las plantas por cada maceta, realizando 3 cortes de la cobertura vegetal por año (2011, 2012 y 2013) a 10 cm desde la superficie del suelo. El material vegetal se secó al aire en un galpón hasta peso constante, se determinó la producción de materia fresca y seca en cada momento y luego, se calculó el aporte de materia seca (MS) de cada especie por ciclo de crecimiento y por maceta.

También, sobre las mismas macetas, se realizó un seguimiento semanal del desarrollo de las etapas fenológicas de las plantas.

## **Curvas de respuesta de la fotosíntesis frente a diferentes condiciones ambientales**

Las mediciones de intercambio gaseoso para la obtención de las curvas de respuesta de la fotosíntesis se realizaron mediante el sistema portable de medición de fotosíntesis CIRAS-2 (PP Systems, Massachussets, USA) sobre hojas jóvenes completamente expandidas y bien expuestas a la luz (Flexas *et al.*, 2007). Se utilizaron suficientes hojas como para cubrir toda la superficie de la cubeta (70 x 250 mm) donde se realizó el intercambio gaseoso (Lopes *et al.*, 2004). El fin fue obtener curvas de respuesta de la fotosíntesis neta (*PN*) a cambios instantáneos de algunas condiciones ambientales, tales como la concentración de CO<sub>2</sub>, la radiación fotosintéticamente activa (*RFA*) y la temperatura de la hoja. Además se determinó la *PN* con contenidos hídricos decrecientes en el suelo para cada especie.

### **Respuesta de la fotosíntesis a la concentración de CO<sub>2</sub>**

Según la metodología descrita por Tambussi y Graciano (2010), las mediciones de fotosíntesis se iniciaron con una concentración de dióxido de carbono cercana a la atmosférica (380 ppm). Luego esta concentración se disminuyó a 230 y por último a 80 ppm. Cada una de estas determinaciones demandó 5 minutos para la estabilización de la *PN* y su registro. Posteriormente, dentro de la cámara de hoja, se elevó la concentración nuevamente a 380 ppm y se mantuvo dicha concentración hasta lograr obtener *PN* cercana a la medición inicial, esta etapa demandó al menos 10 minutos. Es necesario que la planta vuelva a estabilizarse y retomar valores similares obtenidos anteriormente (Tambussi y Graciano, 2010). Luego, mediante el equipamiento CIRAS-2, se aumentaron las concentraciones de CO<sub>2</sub> a 530, 680 y 830 ppm en la cámara donde se encontraba la hoja, estas últimas 3 etapas tomaron 10 minutos cada una para la estabilización y registro. Dicho tiempo fue necesario para obtener en primer lugar, la estabilidad del sistema (concentración de CO<sub>2</sub>) y posteriormente, la estabilidad fisiológica (aclimatación de la hoja y equilibrio de la *PN*). El tiempo total para la determinación de la curva de respuesta a la concentración de CO<sub>2</sub> de una repetición demandó al menos 55 minutos. Se realizaron 3 repeticiones para cada especie, una por cada maceta. Por lo tanto, para la obtención de estas curvas de respuesta se necesitaron 3 días (entre las 10 h y las 16 h). Según la disponibilidad del equipamiento, las mismas se realizaron los días 09, 15 y 21 de marzo de 2012 y, una segunda determinación, durante los días 21, 25 y 26 de marzo 2013. Durante

las mediciones de  $PN$  la temperatura de la hoja ( $TH$ ) se intentó mantener constante a  $25^{\circ}\text{C}$ , aunque la misma se modificó en función de la temperatura ambiente debido a las limitaciones del equipamiento. Se mantuvo constante  $RFA$  en  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y el contenido hídrico del suelo en capacidad de campo ( $CC$ ).

Para cada especie y tipo de especie se construyó una curva de respuesta de  $PN$  (a saturación de  $RFA$ ) versus la concentración intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $Cic$ ) ajustando una ecuación empírica  $PN = a + b*[1-\exp(-c*x)]$  (Gonzalez *et al.*, 2009). La  $Cic$  de  $\text{CO}_2$  se calculó como la  $PN$  dividido la conductancia estomática ( $gs$ ) más la concentración atmosférica actual ( $Catm$ ) de  $\text{CO}_2$  ( $Cic = PN/gs + Catm$ ) (von Caemmerer, 2000); en este caso el instrumento de medición realiza el cálculo y entrega el valor de  $Cic$  entre los resultados. Se estimaron los valores de la respiración mitocondrial aparente ( $R_D$ ) cuando  $Cic$  es igual a 0; el punto de compensación de  $\text{CO}_2$  ( $PCC$ ) o la  $Cic$  requerida para obtener una  $PN = 0$ ; y la  $PN$  máxima a saturación de  $\text{CO}_2$  ( $PN_{max}$ ).

Con los cambios previstos de la  $Catm$  de  $\text{CO}_2$  para los próximos años y las curvas de respuesta de cada especie se realizó una aproximación al porcentaje de aumento de la  $PN$  bajo los distintos escenarios de cambio climático (B1, B2, A1, A2) previstos para el año 2080. En la Tabla 3.2 se muestran las condiciones de los escenarios de cambio climático previstos para el año 2080 en la zona oeste de Argentina. Si no se toman los recaudos necesarios (*e.g.* políticas climáticas puestas en práctica), los niveles de la  $Catm$  de  $\text{CO}_2$  podría encontrarse entre 532 y 721 ppm para el año 2080 y la temperatura ambiente aumentaría  $3,9^{\circ}\text{C}$  en el peor de los escenarios para ese mismo año.

Tabla 3.2. Escenarios de cambio climático (B1, B2, A1 y A2) y cambios en la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  ( $Catm$ ) e incrementos en la temperatura ( $T$ ) previstos para el año 2080.

| Escenario  | $Catm$<br>[ppm] | Incremento de $T$<br>[ $^{\circ}\text{C}$ ] |
|------------|-----------------|---|
| B1 – bajo  | 532             | + 1,2                                       |
| B2 – medio | 561             | + 2,0                                       |
| A1 – medio | 646             | + 2,3                                       |
| A2 – alto  | 721             | + 3,9                                       |

Modificado de Hulme y Sheard (1999).

## Respuesta de la fotosíntesis a la radiación fotosintéticamente activa

Se realizaron también las determinaciones de las curvas de respuesta de las especies a diferentes intensidades de *RFA* con el mismo equipo de medición de fotosíntesis (CIRAS-2) y una lámpara LED (luz emitida por diodos) acoplada a la cámara de hoja (módulo FMS2). Para lograr que la única limitante fuera la *RFA* la concentración de dióxido de carbono fue mantenida constante en 380 ppm, se intentó mantener la *TH* constante en 25°C y por último, el contenido hídrico del suelo se mantuvo en CC. Al utilizar el CIRAS-2, se presentó la misma limitante que en las determinaciones anteriores, la *TH* se modificó en función de la temperatura ambiente y no fue posible mantenerla constante en 25°C. La medición de la fotosíntesis se inició con una *RFA* de 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (cercana a la ambiental, para evitar demoras en la aclimatación) y luego fue disminuida a 800, 400 y 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la cámara donde se encontraba la hoja cambiando los valores establecidos en el equipo. Posteriormente, se elevó a 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y se esperó hasta que la *PN* volviera a los valores iniciales de manera de corroborar que los estomas no estuvieran cerrados (Tambussi y Graciano, 2010); una vez que esto ocurrió, se elevó a 1600 y 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Las primeras 4 etapas necesitaron entre 3 y 5 minutos cada una para completarse, luego la etapa de recuperación demandó entre 8 y 10 minutos, por último las 2 etapas finales demandaron entre 3 y 5 minutos. En conclusión, fueron necesarios alrededor de 30 minutos para completar una curva de respuesta a la *RFA*. Se realizaron 3 repeticiones para cada especie por lo tanto fueron necesarios 2 días de medición en el año 2012 (01 y 02 de marzo) y 2 días en el año 2013 (18 y 20 de marzo).

Se elaboró una curva de respuesta de *PN* versus *RFA* para cada especie como una hipérbola no rectangular, siguiendo el modelo presentado por Zufferey *et al.* (2000):

$$\text{Ecuación 3.1. } PN = \{ \beta * RFA + PN_{max} + R_D - [(\beta * RFA + PN_{max} + R_D)^2 - 4 * \beta * RFA * \Phi (PN_{max} + R_D)]^{1/2} \} / 2 * \Phi - R_D$$

Donde *PN* es la fotosíntesis neta aparente a determinada radiación fotosintéticamente activa (*RFA*) [ $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ],  $\beta$  es la pendiente inicial de la curva de respuesta donde *PN* está limitada por la luz o el rendimiento cuántico aparente [ $\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ fotones}$ ],  $PN_{max}$  es la fotosíntesis máxima aparente a saturación de *RFA* a una temperatura dada,  $R_D$  es la respiración mitocondrial aparente a una temperatura dada y  $\Phi$

es un parámetro adimensional que describe la convexidad de la curva de respuesta y varía entre 0,7 y 1,0.

Además se calculó el punto de compensación lumínico (*PCL*) o la respiración mitocondrial aparente cuando *RFA* = 0 y el índice de saturación lumínico (*ISL*) o el nivel de *RFA* cuando  $PN = PN_{max}$ . Las ecuaciones utilizadas para su cálculo fueron las siguientes (Zufferey *et al.*, 2000):

$$\text{Ecuación 3.2. } PCL = R_D * (R_D * \Phi - PN_{max}) / [\beta * (R_D - PN_{max})]$$

$$\text{Ecuación 3.3. } ISL = 2 * (PN_{max} + R_D) / \beta$$

### **Respuesta de la fotosíntesis a la temperatura**

Para obtener las curvas de respuesta sólo se pudo utilizar un rango de *TH* de 20 – 38°C de acuerdo a las características del equipamiento (CIRAS-2). Este rango de *TH* para cada curva de respuesta dependió exclusivamente de la temperatura ambiente en el momento de la medición ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). Durante estas determinaciones la concentración de  $\text{CO}_2$  (*Catm*) se mantuvo en 380 ppm, la *RFA* en  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y el contenido hídrico del suelo en CC.

Para completar cada curva de respuesta de *PN* a la temperatura fueron necesarios más de 60 minutos. Por lo tanto, se necesitaron en total 5 días desde las 10 hasta las 16 h (27, 28 y 30 de marzo, y 03 y 12 de abril de 2012). Debido a los inconvenientes en el uso y en la disponibilidad del equipo y el insumo de tiempo para obtener estas curvas, las mediciones sólo se realizaron durante el año 2012.

### **Respuesta de la fotosíntesis al contenido relativo de agua en el suelo**

Para la obtención de las curvas de respuesta al contenido hídrico del suelo se pesaron diariamente las macetas, este método es el más preciso ya que se utiliza para la calibración de otros métodos (Grassi, 1998). Se utilizó una balanza (Tecnel S.R.L., Mendoza, Argentina) con una resolución de 0,05 kg (capacidad máxima 150 kg). Durante dichas determinaciones el aumento de peso de las plantas fue considerado insignificante ya que estas curvas se completaron en sólo 11 días. Se calculó el contenido relativo de agua del suelo (*CRAS*) según la siguiente ecuación (Grassi, 1998):

Ecuación 3.4.  $CRAS = (W - W_m) / (W_c - W_m) * 100$

Donde,  $W$  es el peso de macetas obtenido en cada momento de medición,  $W_m$  es el peso de las macetas con el suelo seco y  $W_c$  es el peso 24 hs después de un riego o el peso en CC.

El registro de la  $PN$  se realizó en CC ( $CRAS = 100\%$ ) y luego con un  $CRAS$  aproximado de 90, 80, 70, 60 y 50%. Las macetas fueron pesadas por la mañana temprano y, si el contenido de agua en el suelo era el deseado, entre las 13:30 y las 14:30 h se llevaban a cabo las mediciones de intercambio gaseoso. Las mismas fueron realizadas sobre 2 grupos de hojas (identificados previamente) por maceta y este procedimiento no demoró más de 5 minutos por cada una. La obtención de las curvas se repitió en los meses de abril de los años 2012 (días: 12, 13, 16, 18 y 23) y 2013 (días: 04, 06, 08, 10, 12 y 15). Durante las determinaciones la concentración de  $CO_2$  se mantuvo en 380 ppm, la  $RFA$  en  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y se intentó mantener la temperatura de la hoja a  $25^\circ\text{C}$ , aunque ésta varió en función de la temperatura ambiente, tal como se explicó anteriormente.

### **Análisis estadístico**

El ANAVA de todas variables determinadas se realizó mediante el software estadístico InfoStat (2014). En todos los casos se corroboró la distribución normal y la homogeneidad de la varianza de los datos evaluados. Para la obtención de las curvas de respuesta de  $PN$  se utilizó este mismo software y además SigmaPlot 11.0 (Systat Software, California, USA), el cual fue empleado para representar gráficamente los resultados.

## **Resultados**

### **Producción de biomasa y desarrollo fenológico**

En el primer ciclo de crecimiento no se registraron diferencias significativas entre la producción de MS de las especies ( $p$  0,449). En los siguientes ciclos de crecimiento la producción de MS fue diferente entre las especies nativas ( $p < 0,001$ ). *S. cryptandrus* y *D. californica* registraron la mayor producción de MS tanto en el ciclo 2011/12 como en el 2012/13; aunque en este último ciclo su producción media de MS no se diferenció de *P*.

*phillippianum* y *L. dubia*. Valores intermedios fueron registrados para *P. phillippianum* y *L. dubia* y *S. leucopila* en ambos ciclos de crecimiento. *N. tenuis* registró durante el ciclo 2010/11 una producción de MS similar al resto de las especies; sin embargo, en el ciclo posterior esta especie registró una fuerte disminución de su producción de biomasa y un pequeño aumento durante el último ciclo. El resto de las especies registró un aumento de la producción de MS en el ciclo 2011/12 y posteriormente una disminución de la misma en el ciclo 2012/13.

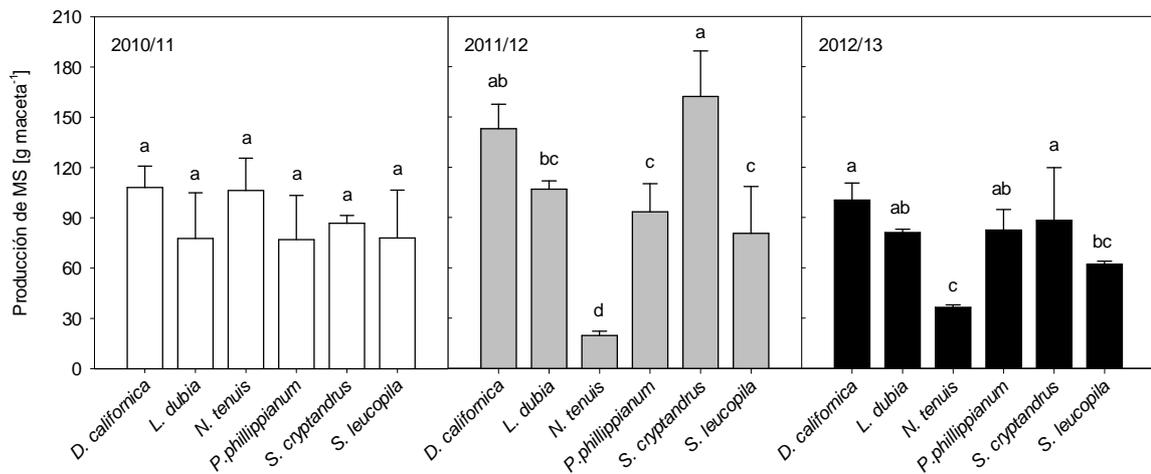


Fig. 3.1. Producción de materia seca (MS) de las especies nativas creciendo en macetas durante cada ciclo de crecimiento. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para cada ciclo (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

La sucesión de etapas fenológicas de las plantas creciendo en macetas (Luján de Cuyo, Mendoza) fue diferente para las especies  $C_4$  y la especie  $C_3$  (Fig. 3.2). *N. tenuis* registró una etapa de crecimiento vegetativo iniciando en agosto y finalizando en mayo; además se observó una detención de crecimiento y amarillamiento de hojas durante los meses de enero y febrero; su etapa de espigazón se registró desde septiembre hasta enero y la diseminación de sus frutos comenzó en noviembre y finalizó en febrero.

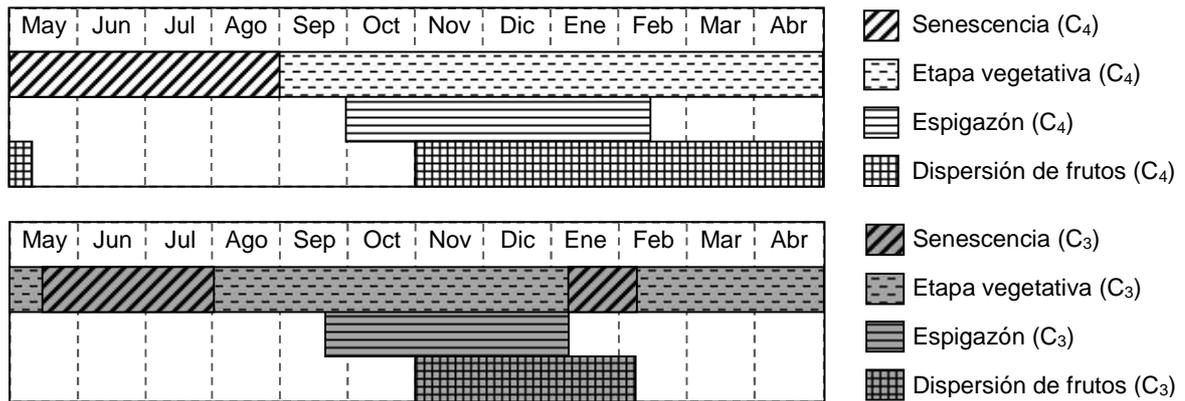


Fig. 3.2. Etapas del desarrollo fenológico (senescencia, vegetativa, espigazón y dispersión de frutos) de las especies  $C_4$  (*D. californica*, *P. phillippianum*, *S. cryptandrus*, *L. dubia* y *S. leucopila*) y  $C_3$  (*N. tenuis*). Promedio de dos ciclos de crecimiento (2011/12 y 2012/13).

Las especies del tipo  $C_4$  poseen un ciclo de crecimiento estival, las mismas iniciaron su periodo vegetativo en septiembre, su espigazón comenzó en octubre y finalizó en abril, y la dispersión de frutos en diciembre la cual se extendió hasta mayo. Desde mayo y hasta el inicio del periodo vegetativo las plantas permanecieron senescentes.

### Respuesta de la fotosíntesis a la concentración de $CO_2$

Mediante el uso de una ecuación empírica y con los datos obtenidos de  $PN$  en función de la modificación de  $Cic$  durante 2 años de medición ( $n = 6$ ), se calculó el ajuste por especie y por tipo de especie según su ruta de fotosíntesis ( $C_3$  y  $C_4$ ).

Las especies del tipo  $C_4$  mostraron tendencias similares en la evolución de su  $PN$  en función de  $Cic$  (Fig. 3.3). Aunque, algunas mostraron una saturación evidente de su  $PN$ , tal como *L. dubia*, otras no registraron saturación de  $PN$ , tal como *S. cryptandrus* y *N. tenuis*.

Dentro del rango de  $Cic$  utilizado, la especie  $C_3$  registró generalmente menores valores de  $PN$  que todas las  $C_4$  (Fig. 3.3). Aunque con la mayor  $Cic$  utilizada (500 ppm), la  $PN$  de  $C_4$  y  $C_3$  prácticamente se igualan. El modelo calculado a partir de todos los datos de las plantas  $C_4$  (como si fueran una única especie) demuestra una saturación evidente de su  $PN$ , pero no así el modelo de la especie  $C_3$  (Fig. 3.4).

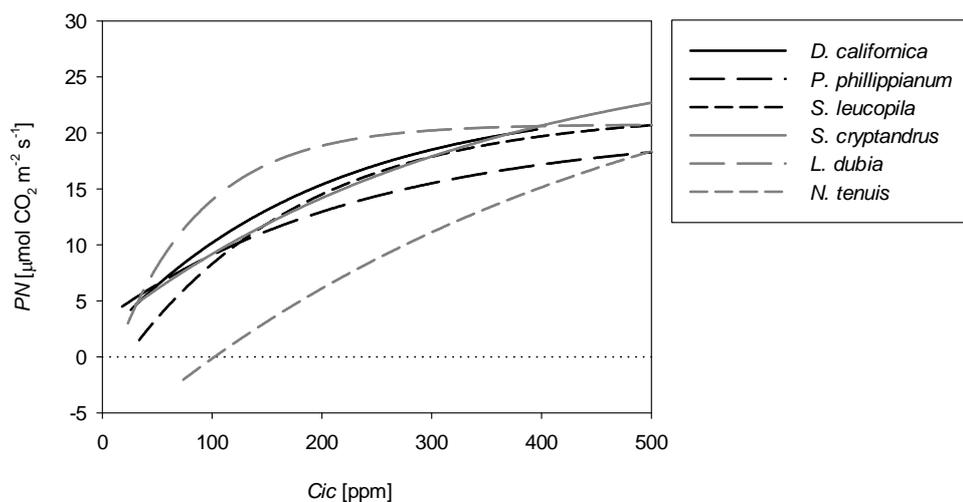


Fig. 3.3. Respuesta promedio de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) al cambio de la concentración intercelular de  $CO_2$  ( $Cic$ ) para cada especie.

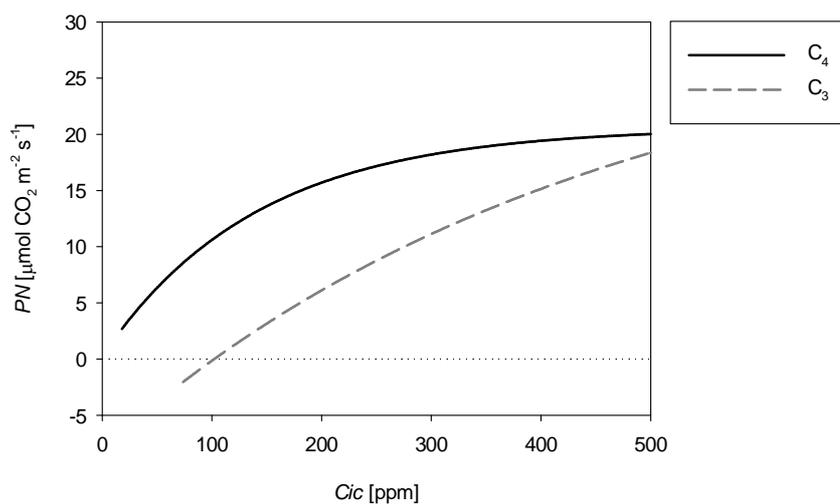


Fig. 3.4. Respuesta promedio de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) al cambio de la concentración intercelular de  $CO_2$  ( $Cic$ ) para cada tipo de especie ( $C_4$ : *D. californica*, *L. dubia*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*;  $C_3$ : *N. tenuis*).

Cuando la  $Cic$  fue igual a cero se registró la respiración mitocondrial aparente ( $R_D$ ) de estas especies. En el caso de *N. tenuis* ( $C_3$ ) el valor fue  $-10,4 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y fue significativamente menor a la  $R_D$  de las especies  $C_4$  ( $-3,6 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Tabla 3.3). *N. tenuis* mantuvo su  $PN$  negativa hasta que la  $Cic$  superó 114 ppm, en dicho momento la  $PN$  fue igual a cero y se alcanzó su  $PCC$ ; para las especies  $C_4$  el  $PCC$  fue significativamente menor (30 ppm de  $CO_2$ ).

La *Cic* con la cual las especies  $C_4$  alcanzarían su  $PN_{max}$  ( $Cic_{max}$ ) fue significativamente menor que para la especie  $C_3$  (Tabla 3.3). Aunque la  $PN$  de *N. tenuis* registrada generalmente fue menor que la fotosíntesis de las plantas  $C_4$ , la  $PN_{max}$  que podrían alcanzar ambos tipos de especies no sería estadísticamente diferente. Las plantas  $C_4$  evaluadas mostraron una saturación aparente de su  $PN$  (aumento menor al 5%) con una *Cic* de 323 ppm; con dicha concentración de  $CO_2$  lograrían una  $PN_{max}$  de  $20,8 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En cambio, la especie  $C_3$  obtendría una  $PN_{max}$   $16,8 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con una *Cic* de 600 ppm.

Tabla 3.3. Respiración mitocondrial aparente ( $R_D$ ) cuando la concentración intercelular de  $CO_2$  (*Cic*) = 0. Punto de compensación de *Cic* cuando  $PN = 0$  ( $PCC$ ). Fotosíntesis máxima ( $PN_{max}$ ) y *Cic* con la cual se alcanza dicho valor ( $Cic_{max}$ ).

| Especie                 | $R_D$<br>[ $\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] | $PCC$<br>[ppm] | $PN_{max}$<br>[ $\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] | $Cic_{max}$<br>[ppm] |
|-------------------------|--|----------------|---|----------------------|
| <i>D. californica</i>   | -1,45 a  | 13,7 c         | 22,4 a  | 333 b                |
| <i>L. dubia</i>         | -2,56 ab   | 19,2 c         | 23,9 a  | 330 b                |
| <i>P. phillippianum</i> | -3,40 ab   | 27,2 c         | 19,4 a  | 350 b                |
| <i>S. leucopila</i>     | -6,35 b  | 59,3 b         | 18,3 a  | 290 b                |
| <i>S. cryptandrus</i>   | -4,36 ab   | 24,5 c         | 20,8 a  | 320 b                |
| <i>N. tenuis</i>        | -10,44 c   | 114,0 a        | 16,8 a  | 600 a                |
| $C_4^*$                 | -3,60 a  | 30,3 b         | 20,8 a  | 323 b                |
| $C_3$                   | -10,44 b   | 114,0 a        | 16,8 a  | 600 a                |

Letras distintas indican diferencias significativas entre especies y tipo de especies para cada variable (Test LSD,  $\alpha$  0,05).  $PN_{max}$  estimada cuando el aumento de la  $PN$  es menor al 5%.

\*Calculado a partir de los datos de todas las especies  $C_4$  tal como si fueran una única especie.

Según los cambios climáticos previstos para el año 2080, la  $Catm$  prevista podría llegar a 721 ppm en el peor de escenarios (A2), por lo tanto la *Cic* se estimaría alrededor de 505 ppm, ya que *Cic* puede estimarse como el 70% de  $Catm$  (Lawlor y Tezara, 2009). En dichas condiciones, la  $PN$  actual de las especies  $C_4$  aumentaría sólo el 13% y en cambio, la especie  $C_3$  aumentaría 87% su  $PN$  actual (Tabla 3.4). Bajo un escenario de cambio climático más leve o de menor sensibilidad climática y menores emisiones (B1), las especies  $C_4$  aparentemente aumentarían 8% y la especie  $C_3$  47% su  $PN$ .

Tabla 3.4. Estimación del aumento de  $PN$  con respecto a  $C_{atm} = 380$  ppm en los escenarios B1 ( $C_{ic} = 372$  ppm) y A2 ( $C_{ic} = 505$  ppm) previstos para el año 2080.

| Especie                 | Aumento estimado de $PN$ en: |       |
|-------------------------|------------------------------|-------|
|                         | B1                           | A2    |
| <i>D. californica</i>   | 08% b                        | 14% b |
| <i>L. dubia</i>         | 08% b                        | 12% b |
| <i>P. phillippianum</i> | 11% b                        | 18% b |
| <i>S. leucopila</i>     | 03% b                        | 04% b |
| <i>S. cryptandrus</i>   | 11% b                        | 17% b |
| <i>N. tenuis</i>        | 47% a                        | 87% a |
| $C_4^*$                 | 08% b                        | 13% b |
| $C_3$                   | 47% a                        | 87% a |

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre especies o tipos de especies (Test LSD,  $\alpha$  0,05).  $C_{ic}$  calculada de manera aproximada según Lawlor y Tezara (2009) como el 70% de  $C_{atm}$ .

\*calculado a partir de los datos de todas las especies  $C_4$  tal como si fueran una única especie.

### Respuesta de la fotosíntesis a la radiación fotosintéticamente activa

La  $PN$  de todas las especies respondió positivamente al aumento de la  $RFA$ , las respuestas promedio de cada especie se observa en la Fig. 3.5. La evolución de  $PN$  de *P. phillippianum* y *L. dubia* fue similar y presentaron los mayores valores con respecto al resto de las especies. La  $PN$  de *N. tenuis* registró los menores valores de  $PN$  con respecto a las restantes especies; a excepción de *S. leucopila*, la cual obtuvo  $PN$  similar a *N. tenuis* y menor que el resto de las especies  $C_4$ .

La respuesta media de la fotosíntesis de las especies  $C_4$  fue diferente a la de la especie  $C_3$ . Las primeras registraron mayor  $PN$  y  $PN_{max}$  que *N. tenuis*. No se observó una saturación aparente de  $PN$  para las  $C_4$  (Fig. 3.6).

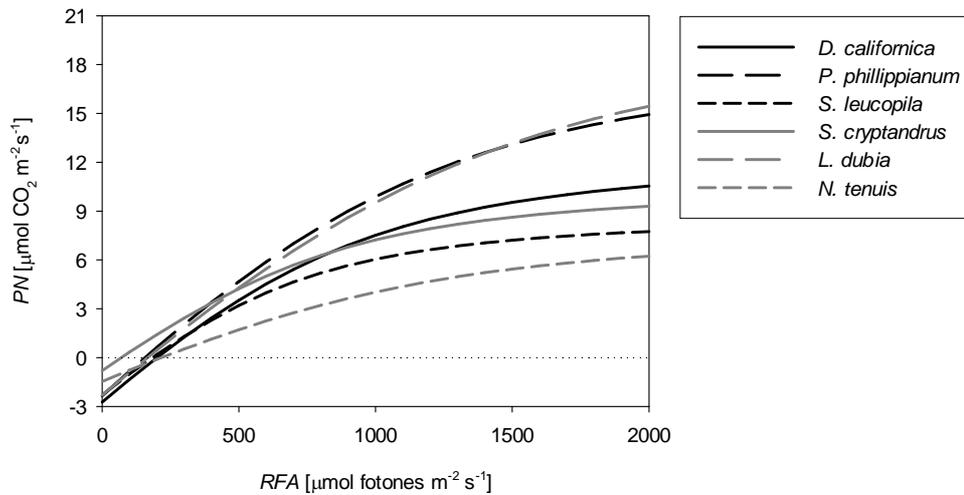


Fig. 3.5. Modelo promedio de respuesta de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) al cambio de la radiación fotosintéticamente activa ( $RFA$ ) para cada especie.

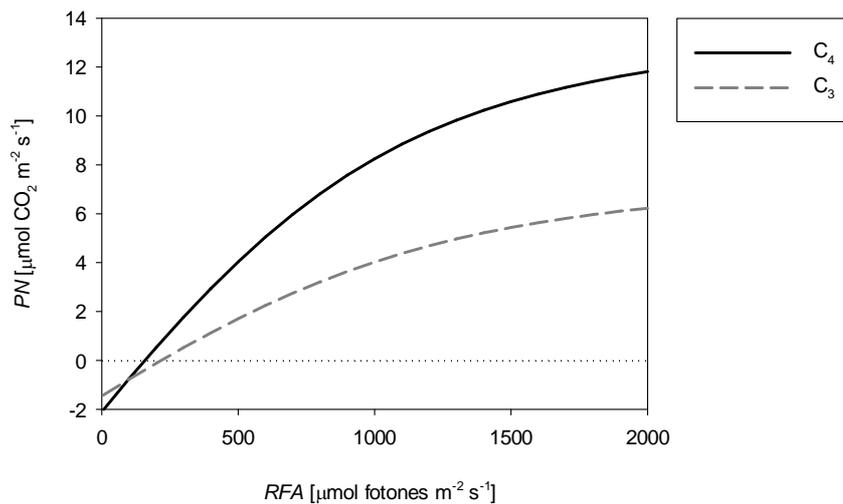


Fig. 3.6. Modelo promedio de respuesta de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) al cambio de la radiación fotosintéticamente activa ( $RFA$ ) para cada tipo de especie ( $C_4$ : *D. californica*, *L. dubia*, *P. philippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*;  $C_3$ : *N. tenuis*).

No se encontraron diferencias estadísticas entre las especies evaluadas con respecto a los valores de la convexidad de la curva ( $\Phi$ ), la respiración mitocondrial aparente ( $R_D$ ) y el punto de compensación lumínico ( $PCL$ ) obtenidos mediante los modelos de respuesta (Tabla 3.5). Sin embargo, sí se registraron diferencias significativas en  $\beta$ , ya que *L. dubia* y *D. californica* registraron los mayores valores, *S. leucopila*, *P. philippianum* y *S. cryptandrus* valores intermedios, y *N. tenuis* el menor valor de la pendiente inicial de la curva ( $\beta$ ), sin diferenciarse de las tres especies anteriores. *L. dubia* registró además la

mayor  $PN_{max}$  y el mayor valor del índice de saturación lumínico ( $ISL$ ). En cambio, *N. tenuis* registró los menores valores de  $PN_{max}$ , sin diferenciarse de *S. cryptandrus*, *S. leucopila* y *D. californica*; y los menores registros de  $ISL$  fueron de *N. tenuis* y *S. leucopila*.

Los modelos de respuesta de cada tipo de especie fueron diferentes (Fig. 3.6). El rendimiento cuántico aparente o la pendiente inicial de la curva ( $\beta$ ), la  $PN_{max}$  y el  $ISL$  de las especies  $C_4$  fueron significativamente mayores que los valores registrados para la especie  $C_3$  (Tabla 3.5). Con respecto al resto de los parámetros evaluados no se encontraron diferencias significativas entre ambos tipos de especies.

Tabla 3.5. Parámetros de los modelos de respuesta de la fotosíntesis neta en función de la radiación fotosintéticamente activa.

| Especie                 | $\beta$   | $PN_{max}$ | $\Phi$  | $R_D$  | $ISL$   | $PCL$ |
|-------------------------|-----------|------------|---------|--------|---------|-------|
| <i>D. californica</i>   | 0,0142 ab | 13,00 bc   | 0,783 a | 2,67 a | 2180 bc | 206 a |
| <i>L. dubia</i>         | 0,0175 a  | 25,87 a    | 0,783 a | 2,47 a | 3321 a  | 142 a |
| <i>P. phillippianum</i> | 0,0116 bc | 17,65 b    | 0,800 a | 2,50 a | 2846 ab | 90 a  |
| <i>S. leucopila</i>     | 0,0118 bc | 11,01 bc   | 0,796 a | 2,19 a | 1843 c  | 203 a |
| <i>S. cryptandrus</i>   | 0,0115 bc | 11,01 bc   | 0,783 a | 2,12 a | 2029 bc | 70 a  |
| <i>N. tenuis</i>        | 0,0096 c  | 06,26 c    | 0,786 a | 2,32 a | 1503 c  | 165 a |
| $C_4^*$                 | 0,0131 a  | 15,43 a    | 0,789 a | 2,38 a | 2466 a  | 150 a |
| $C_3$                   | 0,0096 b  | 06,26 b    | 0,786 a | 2,32 a | 2156 a  | 165 a |

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre especies o tipos de especies (Test LSD,  $\alpha$  0,05).  $\beta$ : pendiente inicial de la curva;  $PN_{max}$ : fotosíntesis neta máxima;  $\Phi$ : convexidad de la curva;  $R_D$ : respiración mitocondrial;  $ISL$ : índice de saturación lumínico;  $PCL$ : punto de compensación lumínico.

\*calculado a partir de los datos de todas las especies  $C_4$  tal como si fueran una única especie.

### Respuesta de la fotosíntesis a la temperatura

El rango de temperatura de hoja ( $TH$ ) evaluado para cada especie dependió exclusivamente de la temperatura ambiental al momento de la medición, es por ello que en las gráficas se observa una diferencia en la temperatura de inicio y de fin de las mediciones (Figs. 3.7 y 3.8). Las determinaciones de  $PN$  fueron promediadas por cada 1°C; las respuestas promedio de  $PN$  con respecto a  $TH$  de cada especie y tipo de especie se obtuvieron ajustando curvas de regresión cuadrática. No se realizó el ANAVA

correspondiente ya que sólo se realizaron 3 repeticiones por tratamiento y los resultados fueron altamente variables ( $CV \sim 100$ ) para realizar un análisis estadístico confiable.

Las respuestas de *L. dubia*, *P. philippianum* y *S. leucopila* fueron similares, aunque la primer especie registró los mayores valores de  $PN$  y la última especie los menores valores de  $PN$  (Fig. 3.7). Del mismo modo, *S. cryptandrus* y *D. californica* mostraron respuestas similares, aunque en general *S. cryptandrus* registró mayores valores de  $PN$  y mayor  $PN_{max}$ . *N. tenuis*, al menos en el rango de temperaturas medidas, registró una evolución de  $PN$  similar a *S. leucopila*; además sus valores de  $PN$  fueron los menores con respecto al resto de las especies.

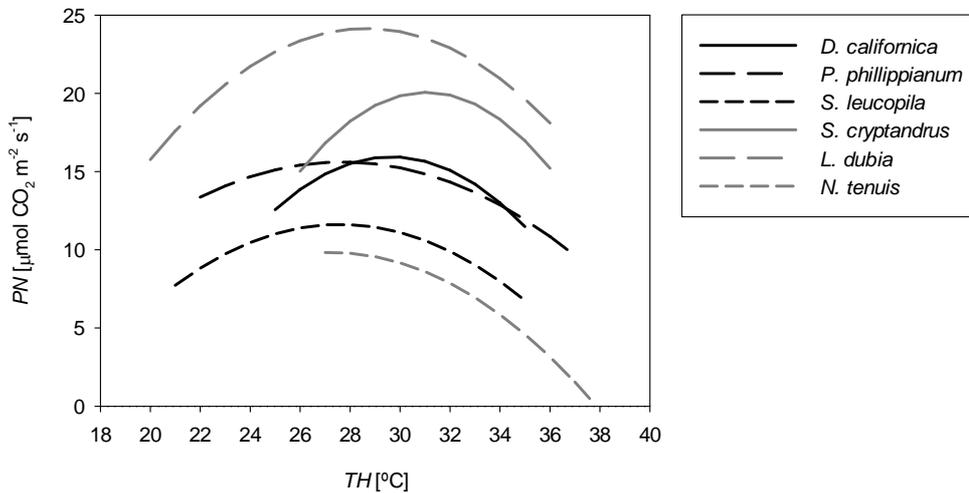


Fig. 3.7. Modelo promedio de respuesta (en función de la regresión cuadrática) de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) al cambio de la temperatura de la hoja ( $TH$ ) para cada especie.

La respuesta promedio de la  $PN$  de las especies  $C_4$  fue comparada con la respuesta de la especie  $C_3$  (Fig. 3.8). La  $PN_{max}$  promedio para el tipo  $C_4$  fue de  $17,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y la misma se alcanzó con una temperatura de hoja de  $30^\circ\text{C}$  ( $TH$ ). En cambio, para el tipo  $C_3$  la  $PN_{max}$  fue de  $9,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y se alcanzó con la  $TH$  mínima utilizada para dicha especie ( $27^\circ\text{C}$ ).

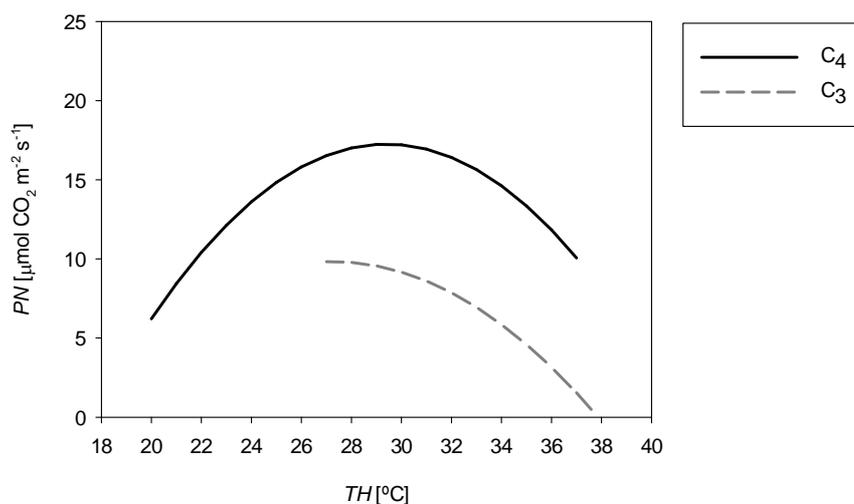


Fig. 3.8. Modelo promedio de respuesta (en función de la regresión cuadrática) de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) al cambio de la temperatura de la hoja ( $TH$ ) para cada tipo de especie ( $C_4$ : *D. californica*, *L. dubia*, *P. philippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*;  $C_3$ : *N. tenuis*).

Según los escenarios de cambio climático propuestos, la temperatura media anual aumentaría en el año 2080  $1,2^{\circ}\text{C}$  según el escenario más leve B1 y  $3,9^{\circ}\text{C}$  según el escenario más grave A2 (Tabla 3.2). Con las respuestas cuadráticas de obtenidas durante el análisis de regresión de los datos se realizó una estimación de la  $PN$  promedio utilizando una temperatura actual de  $26,9^{\circ}\text{C}$  (promedio de la temperatura del aire durante todas las determinaciones) y los aumentos estimados para cada especie y tipo de especie según dichos escenarios de cambio climático (Tabla 3.6).

El aumento de temperatura pronosticado para el año 2080 provocaría modificaciones la  $PN$  de las especies nativas evaluadas. *S. cryptandrus* y *D. californica* aumentarían su  $PN$  si las mismas crecieran tanto bajo un escenario B1 (10% y 5%, respectivamente), como en un escenario A2 (20% y 7%, respectivamente). Bajo el escenario más leve *L. dubia* aumentaría su  $PN$  un 1%, pero bajo el escenario más grave esta especie disminuiría su  $PN$  actual en 1%. Aparentemente, las especies *P. philippianum* y *S. leucopila* no modificarían su  $PN$  si crecieran en un escenario con una temperatura  $1,2^{\circ}\text{C}$  mayor que la actual, aunque aparentemente sufrirían una disminución de su  $PN$  con  $3,9^{\circ}\text{C}$  más que la temperatura actual (-4% y -7%, respectivamente).

Tabla 3.6. Fotosíntesis neta (*PN*) estimada y su porcentaje de modificación para cada especie y tipo de especie con la temperatura actual<sup>1</sup> y el aumento de temperatura estimado para el año 2080 en los escenarios de cambio climático leve B1 (+1,2°C) y alto A2 (+3,9°C).

| Especie                 | <i>PN</i> [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] |      |      | Modificación de <i>PN</i> |      |
|-------------------------|--|------|------|---------------------------|------|
|                         | Actual   | B1   | A2   | B1                        | A2   |
| <i>D. californica</i>   | 14,8   | 15,6 | 15,7 | 5%                        | 7%   |
| <i>L. dubia</i>         | 23,8   | 24,1 | 23,6 | 1%                        | -1%  |
| <i>P. phillippianum</i> | 15,6   | 15,6 | 14,9 | 0%                        | -4%  |
| <i>S. leucopila</i>     | 11,6   | 11,6 | 10,7 | 0%                        | -7%  |
| <i>S. cryptandrus</i>   | 16,7   | 18,3 | 20,1 | 10%                       | 20%  |
| <i>N. tenuis</i>        | 9,8  | 9,8  | 8,7  | -1%                       | -11% |
| C <sub>4</sub> *        | 16,5   | 17,0 | 17,0 | 3%                        | 3%   |
| C <sub>3</sub>          | 9,8  | 9,8  | 8,7  | -1%                       | -11% |

*PN* estimadas en función de las respectivas regresiones cuadráticas. <sup>1</sup>Temperatura actual estimada como la temperatura media del aire durante las mediciones = 26,9°C. Escenarios de cambio climático propuestos por Hulme y Sheard (1999). \*calculado a partir de los datos de todas las especies C<sub>4</sub> tal como si fueran una única especie.

En promedio, las especies C<sub>4</sub> aumentarían su *PN* 3% si crecieran bajo los escenarios B1 y A2 respectivamente; en cambio, la especie C<sub>3</sub> disminuiría su *PN* 1% bajo el escenario B1 y 11% bajo el escenario A2.

### Respuesta de la fotosíntesis al contenido relativo de agua en el suelo

La *PN* de las especies evaluadas se redujo en función de la disminución del contenido relativo de agua en el suelo o *CRAS* (Figs. 3.9, 3.10). Las regresiones lineales de *PN* fueron significativas para las especies C<sub>4</sub> y sólo la regresión cuadrática fue significativa para la especie C<sub>3</sub> (Tabla 3.7). Los valores iniciales de *PN* de *L. dubia*, *P. phillippianum*, *S. cryptandrus* y *S. leucopila*, con *CRAS* 100%, fueron menores que en la medición inmediata posterior o las dos mediciones siguientes. En el caso de *N. tenuis*, se registró un aumento de *PN* hasta que el *CRAS* disminuyó por debajo del 80%, fue entonces cuando su fotosíntesis comenzó a disminuir. *D. californica* registró una disminución constante de su *PN*, aunque la misma se hizo más evidente cuando el *CRAS* disminuyó por debajo de 90%.

Tabla 3.7. Regresión de la fotosíntesis neta (*PN*), la transpiración neta (*TN*) y la conductancia estomática (*gs*) en función del contenido relativo de agua en el suelo para cada especie, proporción de ajuste ( $R^2$ ) y nivel de significancia.

| Especie                 | <i>PN</i>                 | <i>TN</i>                 | <i>gs</i>                                 |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| <i>D. californica</i>   | 2,02+0,07x; $R^2$ 0,67*** | 1,32+0,01x; $R^2$ 0,15*   | 87,20-0,005x; $R^2$ 4 10 <sup>-5</sup> ns |
| <i>L. dubia</i>         | 0,59+0,12x; $R^2$ 0,51*** | 0,92+0,02x; $R^2$ 0,50*** | 41,92+0,77x; $R^2$ 0,66***                |
| <i>P. phillippianum</i> | 1,38+0,08x; $R^2$ 0,56*** | 1,00+0,01x; $R^2$ 0,15*   | 65,45+0,26x; $R^2$ 0,04ns                 |
| <i>S. leucopila</i>     | 1,65+0,05x; $R^2$ 0,35*** | 0,34+0,02x; $R^2$ 0,54*** | 60,76+0,22x; $R^2$ 0,05ns                 |
| <i>S. cryptandrus</i>   | 2,38+0,07x; $R^2$ 0,44*** | 1,72+0,01x; $R^2$ 0,05ns  | 80,34+0,19x; $R^2$ 0,01ns                 |
| <i>N. tenuis</i>        | 5,51+0,02x; $R^2$ 0,04ns  | 2,12+0,01x; $R^2$ 0,07ns  | 183,7+0,09x; $R^2$ 4 10 <sup>-4</sup> ns  |

Nivel de significancia: \*\*\* ( $p < 0,001$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), \* ( $p < 0,05$ ), ns ( $p > 0,05$ ).

Al finalizar el ciclo de mediciones, *S. cryptandrus* mantuvo un contenido hídrico remanente en maceta mayor que el resto de las especies (58%). Aparentemente, esta especie consumió menos cantidad de agua que las restantes. Por el contrario, *L. dubia* registró un consumo hídrico más elevado, ya que al finalizar las mediciones dichas macetas contenían menos del 40% del agua inicial. *L. dubia*, a pesar de iniciar con una *PN* más elevada ( $10,3 \pm 3,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), finalizó con valores muy bajos ( $2,3 \pm 1,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Los registros de *TN* fueron variables entre las especies (Fig. 3.9). *D. californica*, *L. dubia*, *P. phillippianum* y *S. leucopila* disminuyeron lineal y significativamente su *TN* en función de la disminución del *CRAS* (Tabla 3.7). *N. tenuis*, en general, fue la especie con los valores de *TN* más elevados y variables en función del *CRAS*.

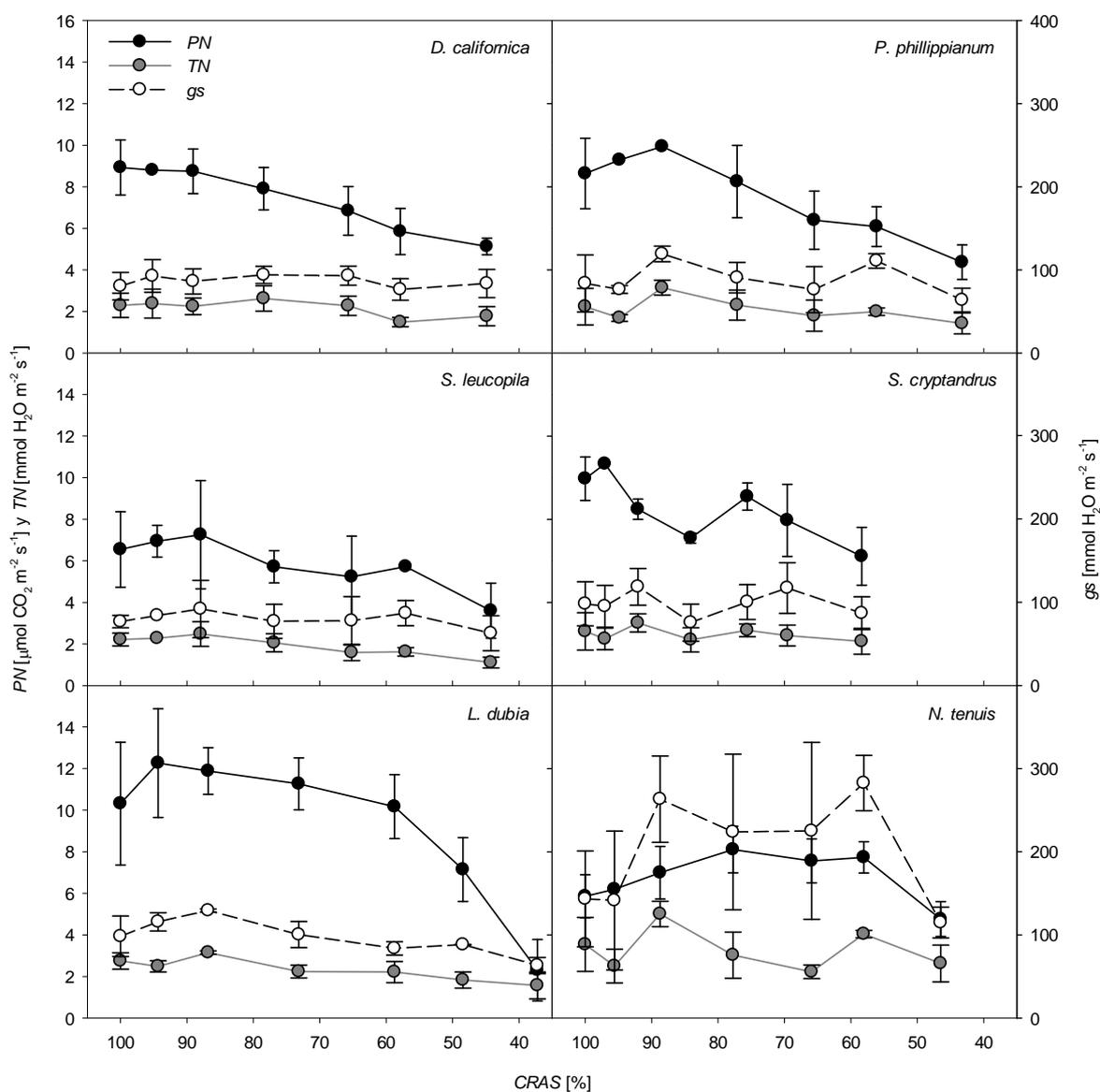


Fig. 3.9. Respuesta promedio de la fotosíntesis neta ( $PN$ ), la transpiración neta ( $TN$ ) y la conductancia estomática ( $gs$ ) al contenido relativo de agua del suelo ( $CRAS$ ) para cada especie; valores medios  $\pm$  DE;  $n = 6$ .

La conductancia estomática ( $gs$ ) fue variable a lo largo de las determinaciones entre las especies evaluadas (Fig. 3.9). Sólo se registró una disminución lineal y significativa para *L. dubia*. Al igual que los valores de  $TN$ , los mayores valores de  $gs$  fueron registrados para la especie *N. tenuis*.

Con los datos promediados para cada especie y mediante un análisis de regresión lineal y cuadrática se obtuvieron las curvas de respuesta de la  $PN$  a la disminución del  $CRAS$  (Fig. 3.10). Las especies *D. californica*, *P. phillippianum* y *S. cryptandrus*

mostraron regresiones similares entre sí. A pesar de tener pendientes más o menos similares, *L. dubia* registró mayores y *S. leucopila* menores valores de *PN* que las tres primeras especies. *N. tenuis*, a diferencia de las especies  $C_4$ , mostró una regresión cuadrática significativa de su *PN* en función del *CRAS*.

En general, las especies  $C_4$  disminuyeron 0,8 veces su *PN* cuando el *CRAS* se redujo 10%; *S. leucopila* fue la especie que disminuyó su *PN* en menor medida (0,5 veces cada 10% de *CRAS*) y *S. cryptandrus* disminuyó en mayor medida su *PN* 1,2 veces. Esta última especie mostró claros síntomas de deshidratación, con *CRAS* 70% se observaron hojas plegadas y con *CRAS* 50% las hojas estaban visiblemente deshidratadas. Por otro lado, la especie  $C_3$  aumentó 18% su *PN* cuando el *CRAS* cambió de 100% a 90% y aumentó otro 6% cuando *CRAS* disminuyó de 75% a 65%. Cuando *CRAS* cayó por debajo del 75%, la *PN* de *N. tenuis* comenzó a disminuir.

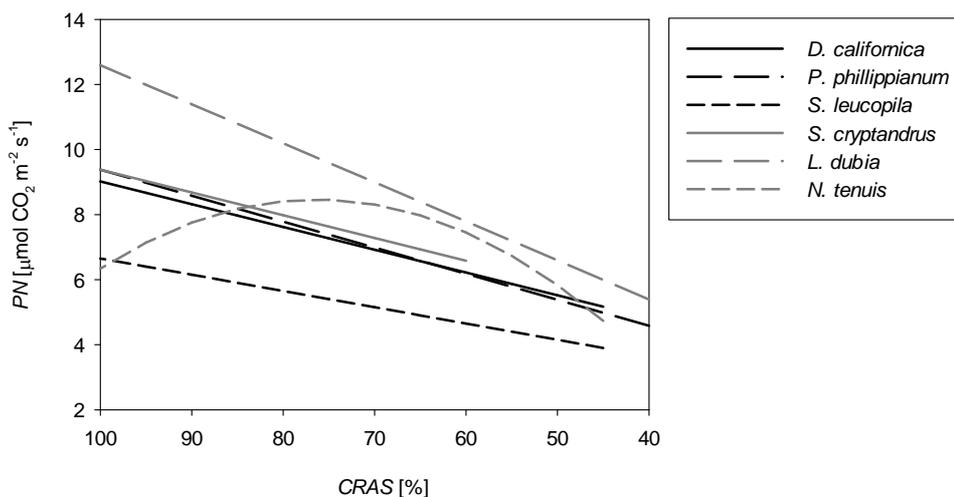


Fig. 3.10. Regresiones lineales ( $C_4$ ) y cuadrática ( $C_3$ ) de la fotosíntesis neta (*PN*) en función del contenido relativo de agua del suelo (*CRAS*) para cada especie.

Se registró una diferencia destacable entre la respuesta de *PN* de las especies  $C_4$  y la  $C_3$  en función del *CRAS* (Fig. 3.11). Las  $C_4$ , en promedio, registraron una disminución lineal y significativa de su *PN* con la disminución del *CRAS*; mientras que, la especie  $C_3$  mostró una respuesta cuadrática significativa. Según un modelo de regresión lineal obtenido para todas las especies  $C_4$ , la  $PN_{max}$  promedio sería de  $10,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con un *CRAS* 100%; en cambio para el tipo  $C_3$   $PN_{max}$  sería de  $8,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con un *CRAS* de aproximadamente 77% (Fig. 3.11).

Los valores iniciales de  $PN$  fueron menores que los obtenidas durante las anteriores curvas de respuesta. Esto pudo deberse a que dichas determinaciones fueron realizadas en la segunda quincena del mes de abril de 2012 y en la primer quincena del mes abril de 2013.

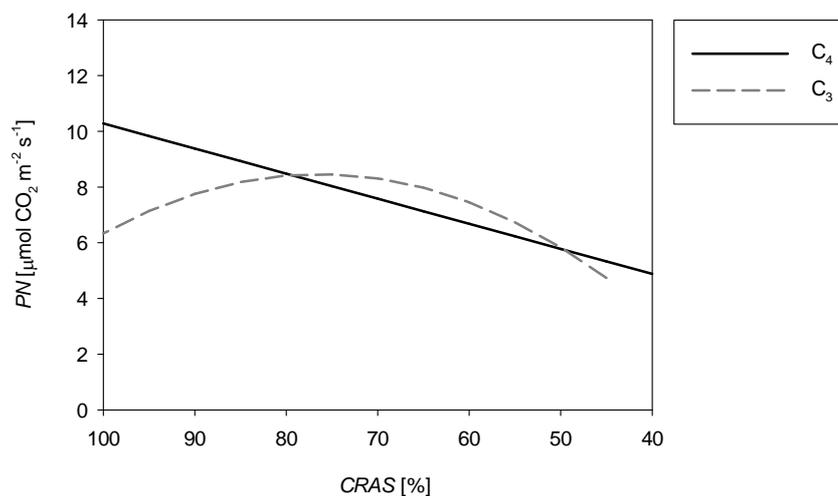


Fig. 3.11. Regresiones lineales (C<sub>4</sub>) y cuadrática (C<sub>3</sub>) de la fotosíntesis neta ( $PN$ ) en función del contenido relativo de agua del suelo ( $CRAS$ ) para cada tipo de especie (C<sub>4</sub>: *D. californica*, *L. dubia*, *P. phillippianum*, *S. leucopila* y *S. cryptandrus*; C<sub>3</sub>: *N. tenuis*).

## Discusión

Durante el primer ciclo de crecimiento no se registraron diferencias significativas en la producción de MS de las especies; esto fue debido a que las plantas se encontraban recientemente trasplantadas y todas en las mismas condiciones iniciales. A partir del segundo ciclo ya se registraron diferencias significativas entre especies. *S. cryptandrus* y *D. californica* produjeron la mayor cantidad de biomasa, en el 2011/12 fue en promedio  $153 \text{ g maceta}^{-1}$  ( $16 \text{ tn ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) para ambas especies. Para *S. cryptandrus* y con ciclos de restricción hídrica en macetas, se ha registrado una menor productividad promedio ( $5 \text{ tn ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) (Uliarte, 2013). Este mismo autor registró productividades similares a las obtenidas durante el presente ensayo para las especies *S. leucopila*, *P. phillippianum*, *L. dubia* y *N. tenuis*.

Aunque *S. cryptandrus* produjo elevada cantidad de MS, los registros de *PN* fueron menores que para otras especies. Sin embargo, para *N. tenuis* hubo coincidencia en la menor producción de biomasa y la menor *PN* registrada durante la obtención de las curvas de respuesta. Algunos autores aseguran que para algunas especies la producción de MS no siempre está asociada con la *PN*, ya que depende de otros factores como la estructura de la canopia, la respiración, la traslocación y el particionamiento de asimilados y las condiciones ambientales (Greco y Cavagnaro, 2005).

La sucesión de etapas fenológicas está determinada por las condiciones de cada sitio en particular. Por ejemplo, las plantas de *N. tenuis* (ex *Stipa tenuis*) creciendo en macetas en Luján de Cuyo, Mendoza fructificaron desde finales del mes de septiembre hasta principios de enero y la diseminación de sus frutos comenzó en noviembre y finalizó en febrero. Sin embargo, en Tunuyán, esta misma especie concentró la fase de espigazón en los meses de noviembre y diciembre durante el período 2002-2005 y las plantas finalizaron su diseminación de frutos durante el mes de enero (Dalmasso *et al.*, 2008).

Tal como aseguran Sage y Kubien (2003), se observó una respuesta positiva al aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  en las especies con ambos tipos de rutas metabólicas. Tal como se esperaba, hubo diferencias en la  $R_D$  entre las especies con diferente ruta metabólica, este valor fue significativamente menor para la especie  $\text{C}_3$ .

Cuando la *PN* fue negativa, las plantas del tipo  $\text{C}_3$  se encontraban bajo un proceso fotorrespirativo o de liberación de  $\text{CO}_2$  (Larcher, 2003). Como las plantas del tipo  $\text{C}_4$  evitan la fotorrespiración mediante un proceso diferencial de captación de  $\text{CO}_2$  (Chollet y Ogren, 1975), se registró una diferencia significativa en el *PCC* de las especies  $\text{C}_4$  con respecto a la  $\text{C}_3$ . Las especies  $\text{C}_4$  rápidamente lograron valores de *PN* positivos cuando la *Cic* aumentó progresivamente, en cambio la especie  $\text{C}_3$  necesitó una *Cic* mayor a 114 ppm para lograr una *PN* mayor a cero. Las modificaciones en el metabolismo y la anatomía de las especies  $\text{C}_4$  les permite mejorar su desempeño incluso en períodos con baja concentración de  $\text{CO}_2$  (Ehleringer *et al.*, 1991).

Aunque la *PN* de las especies  $\text{C}_4$  generalmente fue mayor que la  $\text{C}_3$ , la  $PN_{max}$  de ambos tipos de plantas podría ser similar si la *Cic* alcanzara 600 ppm. Sin embargo, esta situación no se alcanzaría ni aunque se cumplieran las predicciones climáticas más

pesimistas para el año 2080 de aumento de la  $\text{CO}_2$  atmosférica. En caso de cumplirse dichas condiciones, se estima que las especies  $\text{C}_4$  evaluadas aumentarían su  $PN$  13% y la especie  $\text{C}_3$  aumentaría 87%, aunque sólo las  $\text{C}_4$  alcanzarían su  $PN_{max}$ , pero no así la  $\text{C}_3$ . En cambio, si la  $\text{Catm}$  aumentara a 532 ppm (según el escenario de cambio climático más leve) el aumento de  $PN$  sería de 8% para las  $\text{C}_4$  y 47% para la  $\text{C}_3$ . Collatz *et al.* (1992), mediante el uso de modelos de simulación, indican que la  $PN_{max}$  para la especie  $\text{C}_3$  podría ser igual e incluso mayor que para las  $\text{C}_4$  con más de 400 ppm de  $\text{Cic}$ . En coincidencia, otros autores aseguran que el aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférica beneficiaría más a las especies  $\text{C}_3$  que a las  $\text{C}_4$  (Morgan *et al.*, 2011).

Al igual que en el modelo de simulación obtenido por Collatz *et al.* (1992), a medida que la  $RFA$  aumentó, la  $PN$  siempre fue mayor para las especies  $\text{C}_4$  que para la  $\text{C}_3$ . Al igual que Yin y Struik (2009), en el presente trabajo se registró una mayor pendiente inicial de la curva  $PN$  versus  $RFA$  ( $\beta$ ) para las especies  $\text{C}_4$  que para la  $\text{C}_3$ ; sin embargo, Collatz *et al.* (1992) no muestran tales diferencias en su modelo de simulación.

En teoría,  $\beta$  debería a ser menor en  $\text{C}_4$  que las plantas  $\text{C}_3$ , debido al requisito de energía adicional que tienen durante la primera etapa de fijación de  $\text{CO}_2$ , catalizada por la enzima PEP carboxilasa, donde acumulan  $\text{CO}_2$  (Ehleringer *et al.*, 1991). Sin embargo, en condiciones naturales, el rendimiento cuántico en las plantas  $\text{C}_3$  se reduce debido a la fotorrespiración. Este proceso se produce en condiciones de luz solar intensa cuando la relación  $\text{CO}_2:\text{O}_2$  es menor a 50 ppm. Además, la especificidad de la enzima Rubisco  $\text{CO}_2:\text{O}_2$  disminuye con la temperatura, por lo tanto el rendimiento cuántico de plantas  $\text{C}_3$  disminuye con el aumento de la temperatura (Ehleringer *et al.*, 1991; Ehleringer *et al.*, 1997).

Según Larcher (2003) las especies  $\text{C}_3$  lograrían la saturación de su  $PN$  con intensidades de luz ( $RFA$ ) intermedias y las  $\text{C}_4$  no lograrían la saturación aparente de su  $PN$ . En coincidencia, se registró una saturación de  $PN$  con valores significativamente más bajos para la especie  $\text{C}_3$  que para las  $\text{C}_4$ .

La respuesta a la temperatura y la temperatura óptima para lograr  $PN_{max}$  dependen de la genética y fisiología de la especie, y del ambiente donde se desarrolla (Taiz y Zeiger, 2006). Las respuestas obtenidas fueron diferentes entre especie y los mayores valores de

$PN_{max}$  fueron registrados para las especies  $C_4$ , al igual que las temperaturas óptimas necesarias para lograr tales valores. En ensayos realizados con especies del tipo  $C_3$  se han obtenido temperaturas óptimas de alrededor de 25°C (Gonzalez *et al.*, 2009), similar a la registrada para *N. tenuis* (27°C) en el rango de temperaturas evaluadas.

Cada especie posee una temperatura óptima acorde con el sitio donde se desarrolla. Por ejemplo, especies de sitios fríos registran temperaturas óptimas más bajas que especies originarias de sitios más cálidos (Berry y Bjorkman, 1980). La especie  $C_3$  evaluada en el presente ensayo posee un ciclo de crecimiento otoño – invierno – primaveral, en cambio las especies  $C_4$  registran un ciclo de crecimiento estival. Por lo tanto, la diferencia en la temperatura óptima registrada para ambos tipos (30°C para las  $C_4$  y 27°C para la especie  $C_3$ ) también puede deberse a la diferencia en la época de actividad vegetativa de cada tipo de especie.

Las especies del tipo  $C_4$  evaluadas en el presente ensayo se verían afectadas de manera positiva por el aumento previsto de la temperatura ambiente para el año 2080 según Hulme y Sheard (1999), principalmente *S. cryptandrus* y *D. californica*. Se estima que las especies  $C_4$  aumentarían su  $PN$  un 3% tanto en el escenario más leve como en el más grave. En cambio, la especie  $C_3$  evaluada registraría una disminución del 1% y del 11% en el escenario más leve y en el más grave, respectivamente. Por lo tanto, las especies  $C_4$  evaluadas tendrán ventajas sobre la especie  $C_3$  en caso de registrarse el aumento de la temperatura ambiente previsto para el año 2080.

La plasticidad fenotípica es la habilidad de organismos individuales de responder a cambios ambientales alterando sus características (Pigliucci, 2001). En general, las especies  $C_3$  son más plásticas fenotípicamente que las especies del tipo  $C_4$  (Sage y McKown, 2006). Probablemente por esta razón las especies  $C_3$  se encuentran más ampliamente distribuidas y puedan adaptarse a los cambios progresivos de temperatura. Por lo tanto, y debido a estas posibles adaptaciones plásticas, se deberían mantener las plantas con temperaturas elevadas durante todo su ciclo de crecimiento y finalmente evaluar los efectos en su metabolismo, fisiología y anatomía.

El daño metabólico de la fotosíntesis ocurre cuando la  $g_s$  diaria máxima se encuentra por debajo de un umbral común para todas las especies y estados hídricos de las

hojas, el cual se encuentra entre 50 y 100 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Flexas *et al.*, 2006). En este caso no se registraron *gs* menores a 50 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en las plantas evaluadas, por lo tanto la disminución de *PN* no estuvo condicionada por tal daño metabólico.

Durante la determinación de las curvas de respuesta a la disminución del *CRAS*, la *PN* fue diferente para cada especie evaluada. Cinco de las seis especies evaluadas registró valores iniciales de *PN* menores a las mediciones posteriores (excepto *D. californica*). Considerando que antes del inicio del ensayo las plantas se encontraban bien regadas, es posible que estas especies necesiten menor cantidad de agua en el suelo para maximizar su *PN*. Ciertas especies han registrado disminución de su *PN* debido al anegamiento (falta de O<sub>2</sub>) y a la producción de precursores de hormonas como el etileno (Dreyer *et al.*, 1991; Musgrave, 1994; Ahmed *et al.*, 2002; Smethurst y Shabala, 2003; Ahmed *et al.*, 2006). Por lo tanto, para maximizar su *PN* necesitan cierta cantidad (umbral) de H<sub>2</sub>O (u O<sub>2</sub>) en el suelo para que se su metabolismo alcance su máximo. Sin embargo, existen registros para otras especies, tal como *Vitis vinifera* (C<sub>3</sub>), cuya *PN* disminuye progresivamente a medida que aumenta el grado de sequía del suelo (Flexas *et al.*, 2002; Lawlor y Tezara, 2009). Por lo tanto, este comportamiento es propio de algunas especies y su óptimo metabólico puede encontrarse con un *CRAS* menor al 100 %.

En el caso de las especies evaluadas durante el presente ensayo se registraron valores de *PN* máximos entre 100 – 90% para las C<sub>4</sub> y 75 – 80% para las C<sub>3</sub>. A pesar de este comportamiento, se registró una disminución lineal y estadísticamente significativa de la *PN* para las especies C<sub>4</sub> a medida que el suelo se secó; en cambio, la especie C<sub>3</sub> mostró una regresión cuadrática y significativa. La *PN* de *N. tenuis* llegó a su valor máximo sólo cuando el *CRAS* se redujo más del 20% respecto de CC. De todas maneras, para poder comprobar si este es un comportamiento exclusivo de esas especies o si es posible confirmar un patrón de las todas las especies nativas de zonas áridas de Mendoza, deberían realizarse varias determinaciones en un mismo año con distintas especies. *N. tenuis* disminuiría significativamente más su *PN* que las especies C<sub>4</sub> evaluadas con un *CRAS* debajo del 70%, ya que la pendiente de su curva de *PN* es mucho mayor que para las C<sub>4</sub>.

En la Fig. 3.9 se puede observar que *S. cryptandrus* consumió menor cantidad de agua de suelo que el resto de las especies. Al finalizar las determinaciones de fotosíntesis versus *CRAS*, el contenido de agua remanente en las macetas era mayor (58%) que para el

resto de las especies (37% *L. dubia*; 43% *P. phillippianum*; 44% *S. leucopila*; 45% *D. californica* y 46% *N. tenuis*). Además, su *TN* no se redujo significativamente durante las determinaciones, ya que la regresión lineal de *TN* versus *CRAS* no fue significativa (Tabla 3.7).

*L. dubia* registró el mayor consumo hídrico del suelo que el resto de las especies, ya que el contenido relativo de agua remanente en el suelo fue el más bajo (37%). Uliarte (2013), mediante una cámara abierta de canopia entera, registró una elevada evapotranspiración para *L. dubia* creciendo en maceta durante los meses de verano, aunque este valor fue menor que el de *D. californica*. La *TN* de *L. dubia* se redujo significativamente con la disminución del *CRAS*, ya que la regresión lineal de *TN* versus el *CRAS* fue estadísticamente significativa. Finalmente, a pesar de iniciar con el mayor valor de *PN*, al finalizar las determinaciones esta especie registró el menor valor.

## Conclusiones

Creciendo en macetas, sin restricción hídrica, *S. cryptandrus* y *D. californica* registraron la mayor producción de biomasa en los dos últimos ciclos de crecimiento. En cambio, *N. tenuis* en los últimos ciclos de crecimiento registró significativamente la menor producción de biomasa, coincidiendo con la menor *PN* durante todo el ensayo.

En ambos tipos de plantas,  $C_3$  y  $C_4$ , la *PN* aumentó con la *Cic*. Según el escenario de cambio climático más grave previsto para el año 2080, la especie  $C_3$  prácticamente duplicaría su *PN*, a pesar de ello el valor alcanzado sería menor al de las plantas  $C_4$  evaluadas. La pendiente inicial de las curvas de respuesta de fotosíntesis fue significativamente mayor para las especies  $C_4$ , la *Cic* con la alcanzarían su  $PN_{max}$  también fue mayor para este tipo de especies. A pesar de que la  $PN_{max}$  fue similar para ambos tipos y aunque se cumplieran las predicciones más pesimistas de aumento de *Catm*, la especie  $C_3$  no alcanzaría su  $PN_{max}$ . *N. tenuis*, con un comportamiento típico de las especies  $C_3$ , registró significativamente el menor valor de  $R_D$  y el mayor *PCC*, por debajo de tal valor la misma se encontraría bajo un proceso netamente fotorrespirativo. El aumento de la concentración

de CO<sub>2</sub> atmosférica beneficiará más a las especies C<sub>3</sub> que a las C<sub>4</sub>, ya que su *PN* aumentaría proporcionalmente más que para las C<sub>4</sub> evaluadas.

La *PN* de todas las especies respondió positivamente al aumento de la *RFA*. El rendimiento cuántico aparente y la *PN<sub>max</sub>* fueron significativamente mayores para las plantas del tipo C<sub>4</sub>. La *RFA* necesaria para lograr la saturación la *PN* o el *ISL*, tal como se esperaba, fue menor para la especie C<sub>3</sub> que para las plantas del tipo C<sub>4</sub>.

Tanto la *PN<sub>max</sub>* como la temperatura óptima para alcanzar dicho valor fueron mayores para las especies C<sub>4</sub> con respecto a la C<sub>3</sub>. Tal diferencia puede estar dada por el tipo de metabolismo fotosintético y/o por las diferencias en el ciclo de crecimiento de las especies evaluadas (C<sub>4</sub> estival, C<sub>3</sub> otoño – invierno – primaveral). Las especies C<sub>4</sub> evaluadas alcanzaron su *PN<sub>max</sub>* con una temperatura de hoja cercana a 30°C; en cambio la especie C<sub>3</sub> (*N. tenuis*) alcanzaría su máxima *PN* con 27°C. Las especies C<sub>4</sub> aparentemente se verían más beneficiadas por el aumento previsto de temperatura debido al calentamiento global. Ya que, según los resultados obtenidos, las plantas C<sub>4</sub> aumentarían hasta 3% su *PN* y la C<sub>3</sub> disminuiría su *PN* hasta 11% si se cumplieran las predicciones más pesimistas de cambio climático previstas para nuestra zona. Sin embargo, las plantas C<sub>3</sub> al ser más plásticas fenotípicamente podrían adaptarse a tales condiciones; tal afirmación debería ser comprobada mediante un ensayo de crecimiento bajo mayores temperaturas constantes durante al menos un ciclo y con varias especies representantes para cada tipo de metabolismo fotosintético.

Independientemente de los futuros escenarios de cambio climático previstos para Mendoza, en actualidad, la especie C<sub>3</sub> es la mejor especie para ser utilizada como cobertura vegetal en sitios con climas más frescos o de altura y las especies C<sub>4</sub> son más adecuadas para sitios más cálidos.

Con el suelo en CC, la mayoría de las especies (excepto *D. californica*) registraron valores iniciales de *PN* menores a las mediciones posteriores. Aparentemente, estas especies necesitan menor cantidad de agua en el suelo para maximizar su *PN* diaria. Esto pudo ser causado por un efecto de anegamiento y falta de oxígeno en las raíces o por producción de hormonas. Esta teoría debería comprobarse realizando otros ensayos con estas y otras especies y mayor número de repeticiones, para poder corroborar si se trata de

un comportamiento típico sólo de las especies evaluadas o de las plantas originarias de zonas áridas en general. *S. cryptandrus* registró el menor y *L. dubia* el mayor consumo del agua del suelo con respecto al resto de las especies. Se registró una disminución lineal y estadísticamente significativa de la *PN* para las especies  $C_4$  a medida que el suelo se secó. En cambio la *PN* de *N. tenuis* llegó a su valor máximo sólo cuando el *CRAS* se redujo más del 20% respecto de *CC* y luego comenzó a disminuir. En base a los resultados obtenidos, una menor disponibilidad de agua en el suelo ( $CRAS < 70\%$ ), *N. tenuis* disminuiría significativamente más su *PN* que las especies  $C_4$  evaluadas.

# CÁMARA ABIERTA DE INTERCAMBIO GASEOSO PARA PLANTA ENTERA: DESARROLLO Y EVALUACIÓN

### Introducción

En las regiones áridas y semiáridas de la provincia de Mendoza (Capitanelli, 1967; Roig, 1970) la evaporación es muy elevada ( $6 - 7 \text{ mm d}^{-1}$ ) en los meses de verano (Catania *et al.*, 2012). El agua para irrigación es escasa y limita la expansión de la agricultura en esta región, la misma proviene de los ríos y presas, los cuales se proveen del agua proveniente de la nieve acumulada durante el invierno. La temperatura del aire, además de la concentración de  $\text{CO}_2$ , ha aumentado dramáticamente durante las últimas décadas (Hulme y Sheard, 1999; Lal, 2004; IPCC, 2007). Se espera que la disponibilidad de agua para riego se reduzca debido a cambios en los patrones de precipitación nival (Labraga y Villalba, 2009) y a condiciones de evaporación más elevada (IPCC, 2007). En estos sitios es de gran interés poder determinar de manera confiable las interacciones atmósfera-planta-suelo mediante el uso de cámaras de intercambio gaseoso. Una mejor comprensión sobre tal intercambio de gases entre los cultivos y el ambiente puede ayudar a predecir los cambios del entorno y su impacto en la fisiología de las plantas (Flexas *et al.*, 2007).

En las últimas décadas, diversas cámaras portátiles han sido desarrolladas para determinar el intercambio gaseoso. Muchas de ellas han sido desarrolladas como sistemas cerrados o semi-cerrados (Grau, 1995; Angell y Svejcar, 1999; Steduto *et al.*, 2002; Albrizio y Steduto, 2003; Pérez-Priego *et al.*, 2010). En estos sistemas, las plantas son localizadas en una clausura cerrada y el cambio en la concentración de  $\text{CO}_2$  y vapor de agua, luego de cierto tiempo, son utilizados para estimar la fotosíntesis y evapotranspiración. Estos sistemas imponen cambios progresivos en las condiciones de las plantas localizadas en su interior, por lo tanto los mismos sólo pueden ser utilizados durante períodos de tiempo muy cortos (sólo unos minutos). Mediciones más largas

requieren un control efectivo del microclima dentro de la cámara, dicha tecnología aumentaría considerablemente el costo de tal dispositivo de medición (Burkart *et al.*, 2007).

Por otro lado, los sistemas abiertos se encuentran provistos de ventilación continua, lo cual les permite realizar mediciones de intercambio gaseoso con alta resolución durante días o semanas, además el costo de construcción es mucho menor que el de los sistemas cerrados (García *et al.*, 1990; Brooks *et al.*, 2000; Pérez Peña y Tarara, 2004). Este tipo de cámaras han sido extensamente utilizadas por diversos investigadores en condiciones de campo para determinar el intercambio gaseoso de árboles (Corelli Grappadelli y Magnanini, 1993; Poni *et al.*, 1997; Pérez Peña y Tarara, 2004; Medhurst *et al.*, 2006; Barton *et al.*, 2010), arbustos (Stannard y Weltz, 2006) y cultivos herbáceos (Balogh *et al.*, 2007; Burkart *et al.*, 2007; Müller *et al.*, 2009). Estos estudios han evaluado principalmente los efectos del manejo de cultivos (*e.g.* riego, manejo del suelo y de la canopia) o factores ambientales sobre la fotosíntesis y la evapotranspiración (Burkart *et al.*, 2007; Barton *et al.*, 2010).

Existen otras técnicas fiables para medir los flujos de CO<sub>2</sub> desde la superficie del suelo y el intercambio de gases de la planta entera, los métodos micro-meteorológicos (*e.g.* eddy covariance o método de gradiente). Los mismos proveen resultados comparables con los obtenidos mediante cámaras abiertas o cerradas de intercambio gaseoso (Grau, 1995; Dugas *et al.*, 1997; Norman *et al.*, 1997; Schrier-Uijl *et al.*, 2010). Sin embargo, esta tecnología requiere de áreas grandes y homogéneas. Recientemente se ha desarrollado el sistema *Micro-Bowen ratio* con el cual lograron superar dicha limitación; aunque solamente puede determinar, mediante el balance de energía, el flujo de evapotranspiración (*E*) pero no así el intercambio de carbono (Holland *et al.*, 2013). Por el contrario, las cámaras con sistemas abiertos pueden ser utilizadas para medir continuamente el intercambio gaseoso (CO<sub>2</sub> y vapor de H<sub>2</sub>O) de plantas enteras en ensayos diseñados en pequeñas parcelas (Burkart *et al.*, 2007). Estas cámaras son más baratas, fáciles de construir y transportar que los sistemas micro-meteorológicos (García *et al.*, 1990). Sin embargo, existen efectos secundarios asociados y modificaciones en el microclima interior: (i) reducción de la radiación total recibida (Corelli Grappadelli y Magnanini, 1993; Steduto *et al.*, 2002; Müller *et al.*, 2005; Burkart *et al.*, 2007; Centinari *et al.*, 2009); (ii) aumento de la radiación difusa (Ruimy *et al.*, 1995; Müller *et al.*, 2009); (iii) alteración del déficit

de presión de vapor (DPV) (Balogh *et al.*, 2007) y la velocidad del viento (Bonada y Sadras, 2015). Estos cambios en la radiación, en la luz difusa y DPV debido a la cámara pueden afectar el flujo de intercambio de gases y la asimilación de carbono (Steduto *et al.*, 2002; Müller *et al.*, 2005; Burkart *et al.*, 2007; Centinari *et al.*, 2009). No obstante, estos efectos indeseables pueden ser minimizados con un caudal de aire y diseño de cámara apropiados (Garcia *et al.*, 1990).

Una cámara para canopia entera con sistema abierto es esencialmente similar a las cámaras de hoja utilizadas habitualmente (Alterio *et al.*, 2006). Pero las cámaras de hoja no tienen en cuenta una posible compensación entre diferentes estados de desarrollo de las hojas, tipo de hojas y exposición a la luz. Las hojas individuales poseen una contribución diferente al balance hídrico y balance de carbono de la planta entera (Field *et al.*, 1995). Por lo tanto, con una cámara de hoja, resulta prácticamente imposible calcular la transpiración del cultivo por largos períodos de tiempo (Merta *et al.*, 2001).

En los sistemas abiertos el aire es continuamente insuflado con un caudal conocido dentro de la cámara donde se produce el intercambio gaseoso entre la planta y el aire. La transpiración y la fijación de carbono de la planta son determinadas mediante el monitoreo de los cambios de concentración de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> en el aire que circula dentro de la cámara mediante un analizador infrarrojo de gases (IRGA) (Centinari *et al.*, 2009). La diferencia entre la concentración de CO<sub>2</sub> y vapor de H<sub>2</sub>O en el aire entrante y saliente permite la estimación de *E* y del intercambio de CO<sub>2</sub> o fotosíntesis neta (*PN*) (Alterio *et al.*, 2006). La presión positiva generada dentro de la cámara, debido a la entrada permanente de aire, puede minimizar y hasta eliminar posibles flujos de CO<sub>2</sub> provenientes del suelo (Garcia *et al.*, 1990) debido a la respiración de raíces y microorganismos (Kanemasu *et al.*, 1974; Lund *et al.*, 1999; Burkart *et al.*, 2007). La transpiración de las plantas y la evaporación de agua del suelo ocurren simultáneamente y el efecto acumulativo de ambos procesos son evaluados juntos (como *E*) mediante las cámaras de canopia entera (Centinari *et al.*, 2009).

El objetivo de este capítulo fue describir el desarrollo, construcción y funcionamiento de una cámara de intercambio gaseoso con sistema abierto para coberturas vegetales o especies herbáceas. Esta cámara abierta debería ser portable y confiable, aun bajo condiciones de elevada evaporación. Posteriormente, la misma sería utilizada para

realizar el seguimiento anual del balance hídrico y de carbono de las especies bajo evaluación en el presente trabajo de tesis (Capítulo 5).

## **Materiales y métodos**

### **Diseño y operación de la cámara**

El diseño de la cámara consistió en una estructura cilíndrica con un volumen de  $0,196 \text{ m}^3$ , una sección circular de  $0,28 \text{ m}^2$  y una altura de  $0,70 \text{ m}$  (Fig. 4.1; Ref. 1). Estas dimensiones fueron escogidas para lograr buena estabilidad en las determinaciones de intercambio gaseoso (Czóbel *et al.*, 2005). El material de construcción utilizado fue acrílico transparente (polimetilmetacrilato) de  $0,005 \text{ m}$  de espesor. Este material es resistente a los rayos UV, es impermeable, posee menos del 10% de transmisión térmica y absorbe aproximadamente  $0,015\%$  de vapor de agua por hora (Garcia *et al.*, 1990).

El aire exterior fue continuamente insuflado dentro de la cámara mediante un ventilador de corriente continua (activador de tiraje, Ital Air, Buenos Aires, Argentina) (Fig. 4.1; Ref. 2). El aire ingresa por un tubo plástico (PVC) de  $0,16 \text{ m}$  de diámetro ubicado a  $0,10 \text{ m}$  de la superficie del suelo (Fig. 4.1; Ref. 3) y sale por otro tubo similar situado en la parte superior (Fig. 4.1; Ref. 4). Sobre el tubo de salida de aire se colocó un deflector para evitar la entrada del aire exterior (Fig. 4.1; Ref. 5) (Garcia *et al.*, 1990). El caudal de aire ( $Q$ ) se varió reemplazando el tubo de entrada de aire por otros de diferente diámetro ( $0,120$ ;  $0,050$ ;  $0,045$  y  $0,040 \text{ m}$ ) de al menos  $1,00 \text{ m}$  de largo (Fig. 4.1; Ref. 6). Todo el material plástico utilizado fue de color blanco para reducir la absorción de radiación y las fluctuaciones de temperatura en el aire entrante (Burkart *et al.*, 2007).

Las muestras del aire entrante y saliente fueron captadas por el IRGA (*Portable Photosynthesis System CIRAS-2*, PP Systems, Massachusetts, USA) a través de tubos de polipropileno de  $0,006 \text{ m}$  de diámetro (Fig. 4.1; Ref. 7 y 8). Se colocó un pequeño ventilador dentro de la cámara ( $0,075 \text{ m}$  de diámetro; MJ 802512, California, USA) para obtener muestras de aire representativas y homogéneas y evitar corrientes de convección (Garcia *et al.*, 1990). El caudal de aire fue determinado en el tubo de entrada, por encima

del ventilador, mediante el uso de un anemómetro de hilo caliente (serie 471, Dwyer, Michigan, U.S.A.) (Balogh *et al.*, 2007). Dos registradores de datos provistos por un sensor de temperatura (TC1047A) y un sensor puntual de radiación fotosintéticamente activa (*RFA*) (célula de GaAsP con cápsula de aluminio) de Cavadevices (Buenos Aires, Argentina) registran datos cada 1 minuto y luego se promedian cada 15 minutos. El sensor interior de la *RFA* fue localizado en el medio de la cámara a 60 cm de altura y el sensor exterior fue colocado sobre la superficie del suelo evitando el sombreadamiento, ambos sensores fueron nivelados con nivel de burbuja. Los dos sensores de temperatura fueron colocados a 0,30 m desde la superficie del suelo y protegidos de la radiación directa con una lámina de aluminio.

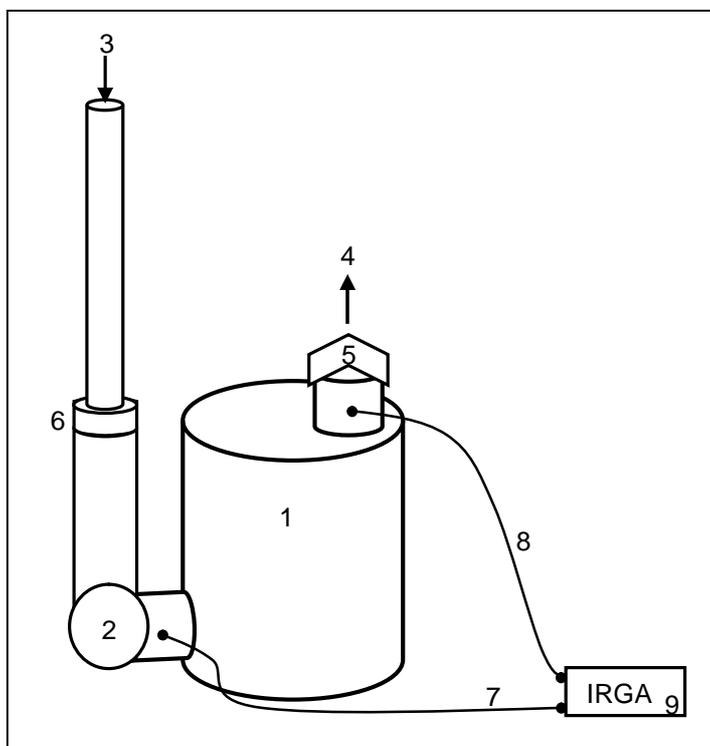


Fig. 4.1. Esquema del prototipo de la cámara de intercambio gaseoso con sistema abierto.

Referencias: 1- cuerpo cilíndrico de acrílico; 2- ventilador de corriente continua; 3- tubo de plástico para la entrada de aire; 4- tubo de plástico para la salida de aire; 5- deflector plástico; 6- reductor de sección de plástico; 7- muestra de aire de referencia; 8- muestra de aire para análisis; 9- IRGA.

Las ecuaciones utilizadas para determinar el intercambio de carbono y la evapotranspiración de las plantas dentro de la cámara fueron adaptadas de Burkart *et al.* (2007) y Centinari *et al.* (2009):

$$\text{Ecuación 4.1. } E = (u/A)*[\Delta e/(PA - e_o)]$$

Donde  $E$  es la evapotranspiración [ $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ],  $u$  es el flujo molar del aire [ $\text{mol H}_2\text{O s}^{-1}$ ],  $A$  es la superficie de la cámara [ $\text{m}^2$ ],  $\Delta e$  es la diferencia de presión de vapor entre el aire que entra y el que sale [ $\text{Pa}$ ],  $PA$  es la presión atmosférica, la cual se asume es constante ( $101325 \text{ [Pa]}$ ) y  $e_o$  es la presión de vapor fuera de la cámara [ $\text{Pa}$ ].

Ecuación 4.2.  $IC = \Delta\text{CO}_2 * u / A$

Donde  $IC$  es el intercambio de  $\text{CO}_2$  [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ],  $\Delta\text{CO}_2$  es la diferencia de concentración de  $\text{CO}_2$  determinada por el IRGA entre el aire que entra y el que sale de la cámara [ $\text{ppm}$ ],  $u$  es el flujo molar del aire [ $\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$ ] y  $A$  es la superficie de la cámara [ $\text{m}^2$ ].

Ecuación 4.3.  $u = (Q * PA) / (R * T_o)$

Donde  $u$  es el flujo molar del aire (en  $E$ : [ $\text{mol H}_2\text{O s}^{-1}$ ]; en  $IC$ : [ $\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$ ]),  $Q$  es el caudal de aire [ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ],  $T_o$  es la temperatura ambiente [ $\text{K}$ ],  $PA$  es la presión atmosférica [ $\text{Pa}$ ] y  $R$  es la constante universal de los gases ( $8,314472 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).

### **Evaluación de la evaporación**

El método gravimétrico con cajas de Petri llenas con agua fue utilizado para la calibración de la evaporación determinada por la cámara de intercambio gaseoso. La cámara fue colocada sobre una superficie inerte blanca. Seis cajas de Petri de  $0,09 \text{ m}$  de diámetro fueron llenadas con  $25 \text{ cm}^3$  de agua, 3 de ellas fueron colocadas en el interior de la cámara y las restantes fuera de ella. La evaporación dentro de la cámara fue determinada mediante el método gravimétrico ( $Gi$ ) y mediante el uso de la cámara ( $Ci$ ) con el IRGA; y la evaporación exterior fue calculada mediante el método gravimétrico ( $Ge$ ).

Las mediciones de evaporación fueron realizadas durante 30 minutos para cada  $Q$  ( $0,007$ ;  $0,012$ ;  $0,022$ ,  $0,00047$  y  $0,072 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) y se realizaron 4 repeticiones para cada uno de ellos. Se calculó la relación de la evaporación interior determinada mediante el método de la cámara y el método gravimétrico ( $Ci/Gi$ ), y la relación entre la evaporación interior determinada por el método de la cámara y la evaporación exterior determinada por el método gravimétrico ( $Ci/Ge$ ). Estas determinaciones fueron llevadas a cabo bajo condiciones de cielo despejado entre las  $10:00$  y las  $16:00 \text{ h}$  durante 2 días consecutivos

(18 y 19/12/2012) y nunca se observó condensación de agua sobre las paredes internas de la cámara.

La temperatura y la luz, tanto en el interior como en el exterior de la cámara, fueron registradas cada 15 minutos. El registro de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O fue realizado por el IRGA cada 15 segundos. Además se calculó la diferencia entre el déficit de presión de vapor (DPV) exterior e interior de la cámara para cada  $Q$ .

### **Efecto del caudal de aire sobre el $IC$ y la $E$ de una cobertura vegetal**

Se llevó a cabo la comparación entre el intercambio de CO<sub>2</sub> ( $IC$ ) y la evapotranspiración ( $E$ ) de una cobertura vegetal para seleccionar el  $Q$  apropiado para lograr un mejor funcionamiento de la cámara y obtener resultados más precisos. La cobertura vegetal evaluada de 0,05 m de altura se encontraba bajo riego superficial y estaba compuesta por 79% de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. var. *dactylon* y por 21% de *Taraxacum officinale* G. Weber ex F.H. Wigg. Dicha cobertura de suelo fue determinada mediante el método de la cuerda con cuentas (Sarrantonio, 1995). Ambas especies se encontraban en la etapa de crecimiento vegetativo al momento de su evaluación. El sitio experimental se encontraba ubicado en el INTA, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (33° 00' 21" Sur, 68° 51' 53" Oeste). La comparación de  $IC$  y  $E$  se realizó utilizando cada  $Q$  (0,007; 0,012; 0,022; 0,047 y 0,072 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) durante 30 min. Las evaluaciones fueron repetidas 4 veces y el orden de uso de cada  $Q$  fue al azar en cada repetición.

Las mediciones se realizaron en condiciones de cielo despejado entre las 10:00 y las 16:00 h los días 20 y 21/12/2012. Las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de vapor de H<sub>2</sub>O fueron registradas cada 15 segundos y luego se calcularon los valores promedio de  $IC$  y  $E$  para cada uno de los  $Q$  evaluados, según las ecuaciones 4.1 y 4.2. Los registros de temperatura y luz dentro y fuera de la cámara se realizaron cada 15 minutos. Finalmente, se calculó la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) y la diferencia del déficit de presión de vapor ( $\Delta DPV$ ) interior y exterior de la cámara para cada  $Q$  utilizado.

## **Intercambio gaseoso de una cobertura vegetal con un caudal de aire seleccionado**

Las determinaciones de intercambio gaseoso se llevaron a cabo con un  $Q$  de  $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  sobre la misma cobertura vegetal que la utilizada para el ensayo anterior. Las mismas comenzaron a las 8:30 y finalizaron a las 17:30 h (03/02/2013). Se registró un episodio de nubosidad variable entre las 8:30 y las 9:30 h, luego el cielo se mantuvo completamente despejado hasta la finalización de las determinaciones. Los parámetros determinados fueron los mismos que en los puntos anteriores, con ello se calcularon el  $IC$  y la  $E$  (ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3).

### **Análisis estadístico**

Todos los datos obtenidos durante la calibración, comparación de  $Q$  y mediciones sobre la cobertura vegetal fueron evaluados mediante el ANAVA, utilizando el programa estadístico InfoStat (2014). Las regresiones lineales de  $\Delta T$ ,  $IC$  y  $E$  fueron realizadas en función de  $Q$  para obtener ajustes estadísticamente significativos. En todos los casos se corroboró la distribución normal y la homogeneidad de la varianza de los datos evaluados. Se realizó la correlación, mediante el cálculo del coeficiente de Pearson, de  $IC$  y  $E$  con el caudal de aire, la temperatura y la luz dentro de la cámara. El software SigmaPlot 11.0 (Systat Software, California, USA) fue utilizado para presentar gráficamente los resultados.

## **Resultados**

### **Evaluación de la evaporación**

En esta primera etapa de evaluación del sistema, la evaporación dentro de la cámara fue calculada utilizando lo método gravimétrico ( $Gi$ ) y el método de la cámara ( $Ci$ ). Tal como se esperaba el aumento del flujo de aire aumentó la evaporación dentro de la cámara, y además, no se registraron cambios significativos en la evaporación fuera de la cámara determinada por el método gravimétrico ( $Ge$ ) para cada  $Q$  (Fig. 4.2A). La evaporación determinada por  $Gi$  siempre fue mayor que  $Ci$ , y el incremento de ambas variables fue similar. La evaporación dentro de la cámara mostró una regresión lineal significativa en función de  $Q$ , alcanzando valores máximos de  $Gi$   $17,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y  $Ci$   $6,8 \text{ mmol}$

$\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  cuando se utilizó el máximo  $Q$   $0,072 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . La evaporación máxima determinada por  $G_i$  fue 2,6 veces mayor que la determinada por  $C_i$ .

La relación entre la evaporación determinada por el método de la cámara y el método gravimétrico ( $C_i/G_i$ ) se correlacionó linealmente con  $Q$  ( $p < 0,001$ ). Los valores de  $C_i/G_i$  fueron 0,29; 0,49; 0,74; 1,11 y 1,61 con 0,007; 0,012; 0,022; 0,047 y  $0,072 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  respectivamente (Fig. 4.2B). Utilizando los  $Q$  0,022 y  $0,047 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  se lograron obtener valores cercanos a 1. Los valores medios de la relación  $C_i/Ge$  fueron 0,31; 0,58; 1,13; 1,88 y 2,50 con 0,007; 0,012; 0,022; 0,047 y  $0,072 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  respectivamente. Nuevamente, con los  $Q$  0,022 y  $0,047 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  se obtuvieron valores de  $C_i/Ge$  cercanos a 1.

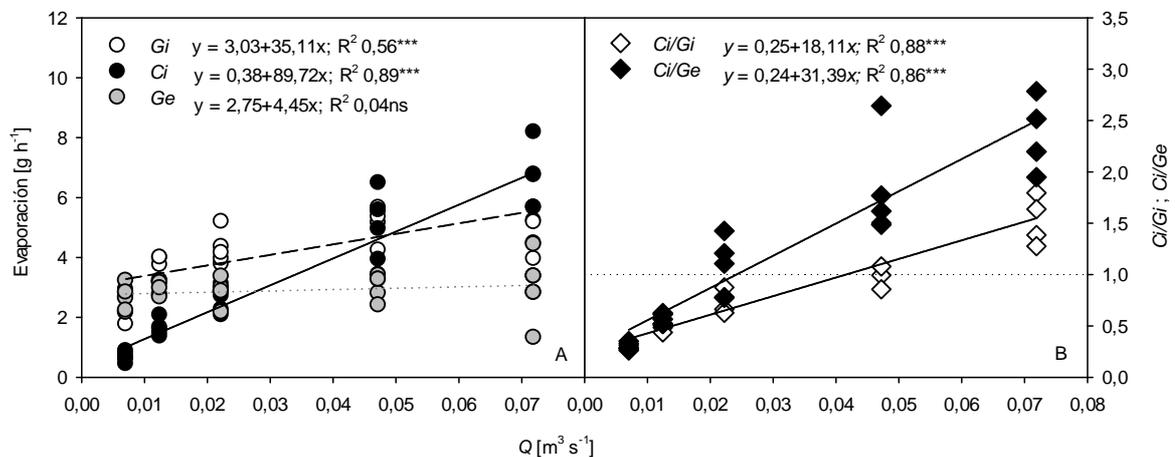


Fig. 4.2. A. Evaporación dentro de la cámara determinada mediante el método gravimétrico ( $G_i$ ) y el método de la cámara ( $C_i$ ), y fuera de la cámara determinada mediante el método gravimétrico ( $G_e$ ). B. Relaciones  $C_i/G_i$  y  $C_i/Ge$ . Regresiones lineales y variables graficadas en función del caudal de aire ( $Q$ ).

### Efecto del caudal de aire sobre el $IC$ y la $E$ de una cobertura vegetal

La temperatura dentro de la cámara es un parámetro importante ya que afecta el  $IC$  y la  $E$ . Los valores de  $\Delta T$  obtenidos para 0,022; 0,047 y  $0,072 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  fueron menores a  $5^\circ\text{C}$  (Fig. 4.3A). Bajos valores de  $\Delta T$  son deseables para crear dentro de la cámara un ambiente similar al medio natural de las plantas evaluadas. Los mayores valores de  $\Delta T$  fueron 6,74 y 6,13, los cuales correspondieron a los menores  $Q$   $0,007$  y  $0,013 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Por otro lado, los cambios en  $Q$  no modificaron la irradiación que recibieron las plantas ubicadas dentro de la cámara de intercambio gaseoso. La disminución media de la luz dentro de la cámara fue de 5% para todos los  $Q$  evaluados ( $p$

0,650). Finalmente, el  $\Delta DVP$  dentro de la cámara fue correlacionado negativamente con  $Q$  ( $p < 0,001$ ) (Fig. 4.3A).

Los valores de  $IC$  y  $E$  de la cobertura vegetal se obtuvieron con poca dispersión y ambos aumentaron casi 3 veces a través del rango de caudales de aire evaluados, con pendientes lineales, significativas y similares (Fig. 4.3B). La correlación entre  $IC$  y  $E$  con respecto a  $Q$  fue 0,93 y 0,96 (coeficiente de Pearson), respectivamente.

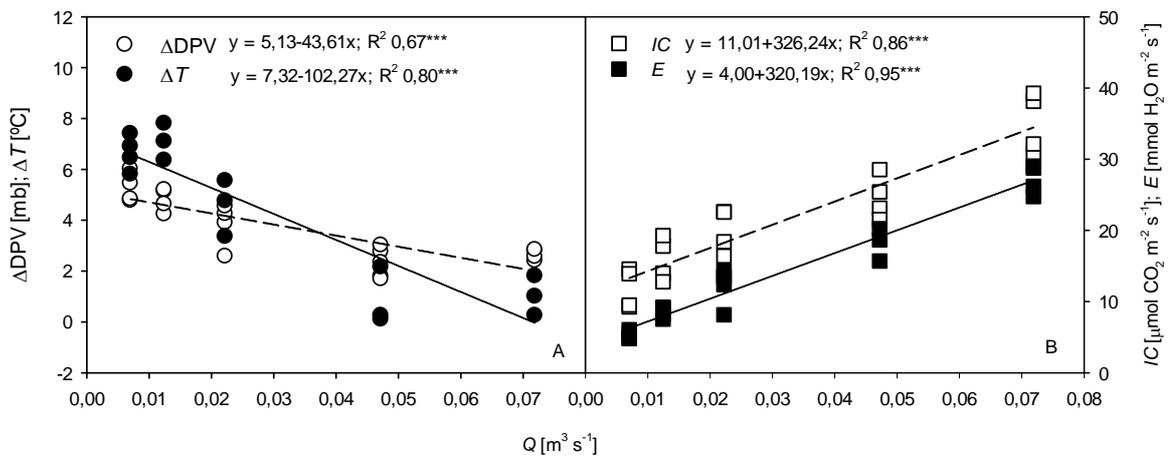


Fig. 4.3. A. Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) y diferencia del déficit de presión de vapor ( $\Delta DVP$ ) dentro y fuera de la cámara. B. Intercambio de CO<sub>2</sub> ( $IC$ ) y evapotranspiración ( $E$ ) de una cobertura vegetal ( $n = 4$ ). Regresiones lineales y variables graficadas en función del caudal de aire ( $Q$ ).

### Intercambio gaseoso de una cobertura vegetal con un caudal de aire seleccionado

Esta evaluación fue llevada a bajo condiciones de elevada demanda ambiental de evaporación, con una temperatura ambiente máxima de 35,8°C y una humedad relativa diaria promedio del 54%.

A lo largo de las determinaciones la temperatura dentro de la cámara siempre fue mayor que la temperatura ambiente, especialmente entre las 12:30 y las 15:00 h donde se registró un  $\Delta T$  de 3,4°C (Fig. 4.4A); aunque el  $\Delta T$  promedio fue de 2,4°C. El episodio de nubosidad variable causó una disminución tanto en la temperatura como en la luz recibida y, en consecuencia, el intercambio gaseoso también se vio afectada durante una hora (Fig. 4.4B). La  $RFA$  recibida dentro de la cámara fue generalmente menor a la registrada en el ambiente exterior (Fig. 4.4A).

La  $E$  evolucionó de manera similar a la temperatura dentro de la cámara (Fig. 4.4B). La correlación entre la  $E$  y la temperatura, y entre la  $E$  y la  $RFA$  fueron de 0,94 y 0,83 (coeficiente de Pearson), respectivamente ( $p < 0,001$ ). La mayor  $E$  fue lograda aproximadamente a las 15:30 h y el registro fue de  $4,3 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A pesar de que  $E$  fue altamente correlacionada con la temperatura, la máxima temperatura se registró una hora más tarde (16:30 h) (Fig. 4.4A).

Por otro lado,  $IC$  fue máxima alrededor de las 14:00 h y siguió una tendencia similar a la  $RFA$  recibida (Fig. 4.4). Ambas variables fueron altamente correlacionadas ( $p < 0,001$ ) con un coeficiente de Pearson de 0,96. El  $IC$  máximo fue logrado unos minutos antes de las 14:00 h, y este valor fue aproximadamente 3,5 veces mayor que el  $IC$  obtenido en la mañana temprano ( $25,7$  versus  $\sim 7.3 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente (Fig. 4.4B).

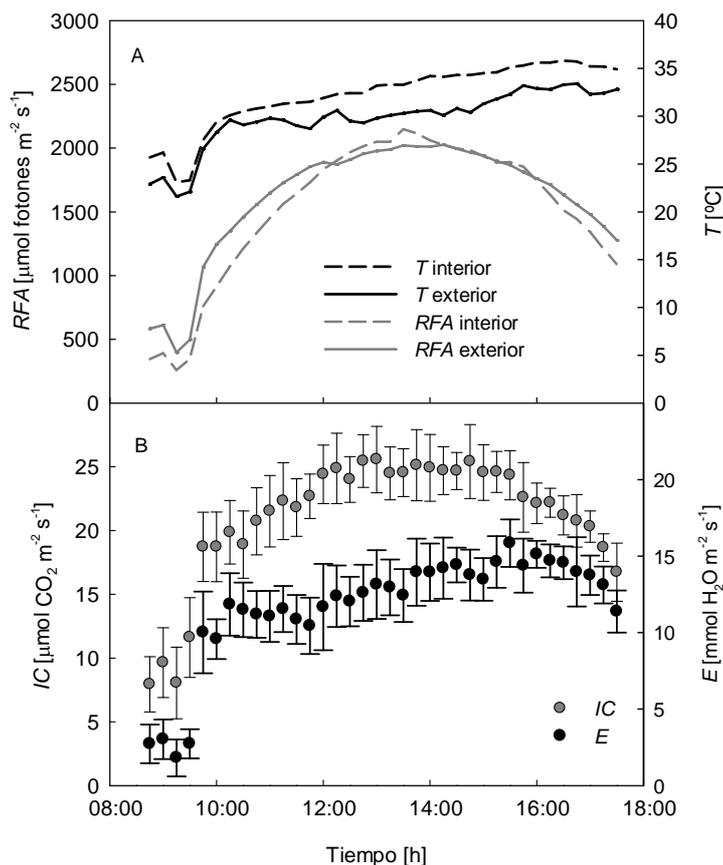


Fig. 4.4. Evolución a través del tiempo de: A. la temperatura ( $T$ ) y la radiación fotosintéticamente activa ( $RFA$ ) dentro y fuera de la cámara; B. el intercambio de  $\text{CO}_2$  ( $IC$ ) y la evapotranspiración ( $E$ ) de la cobertura vegetal  $\pm$  DE.

## Discusión

Durante las determinaciones realizadas en la evaluación de la evaporación no se registraron grandes fluctuaciones de la *RFA* incidente ni de la presión de vapor del aire; resultados similares fueron obtenidos por Müller *et al.* (2009) durante la evaluación de su cámara. Por lo tanto, se asume que la *RFA* y la presión de vapor del aire no influenciaron las mediciones de *IC* y *E* realizadas con la cámara.

La evaporación dentro de la cámara (*Ci* y *Gi*) aumentó junto con el *Q*, mientras que *Ge* se mantuvo prácticamente constante. Poni *et al.* (1999) también encontraron una correlación lineal y positiva entre *Q* y la evaporación dentro de la cámara. Esto se debe a la disminución de la resistencia de la capa límite en la superficie de evaporación debido al aumento de la velocidad del aire y la turbulencia dentro de la cámara (Centinari *et al.*, 2009). Este aumento de la velocidad del aire causa un incremento en el gradiente de potencial entre la atmósfera y la superficie, por lo tanto un aumento en la evaporación. Dugas *et al.* (1997) indican que el aumento de la velocidad del viento dentro de la cámara puede aumentar la evaporación desde la superficie del suelo; dichos autores registraron mayor evaporación dentro de su cámara de intercambio gaseoso comparado con el método de balance de energía Bowen Ratio. La evaporación determinada mediante *Ci* fue menor que la evaporación real (*Gi*) a medida que *Q* aumentaba (con  $Q < 0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). La relación *Ci/Gi* fue 0,29 para el menor *Q*, pero este valor se incrementó significativamente con el caudal de aire. Utilizando los *Q* 0,022 y 0,047  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  se lograron obtener relaciones *Ci/Gi* cercanas a 1. Por lo tanto, mediante el uso de la cámara con dichos caudales se pueden obtener valores similares a la evaporación real determinada por el método gravimétrico en el interior de la cámara. Además, con los valores obtenidos de *Ci/Ge* para cada *Q*, se confirma que las condiciones dentro de la cámara no se modifican sustancialmente cuando se utilizan estos dos caudales de aire mencionados, ya que la evaporación dentro de la cámara es similar a la exterior (*Ge*). Los valores de la relación *Ci/Gi* para cada *Q* son útiles para ser utilizados como factor de corrección de las determinaciones de la *E* de las plantas (Pfister, 2005).

Luego de la calibración realizada se puede asegurar que el uso de la cámara subestima la evaporación real, determinada por el método gravimétrico, hasta que el *Q*

supera los  $0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Centinari *et al.* (2009) también encontraron que las mediciones provenientes de su cámara subestimaban la pérdida de agua calculada mediante el método gravimétrico. Los mismos autores aseguraron que las paredes de la cámara no absorbieron humedad de agua durante las determinaciones realizadas; por lo tanto, se asume que tampoco lo hizo la cámara desarrollada durante el presente trabajo, ya que el material de construcción fue el mismo. Como no se observó condensación de agua sobre las paredes internas de la cámara, se estima que prácticamente toda el agua evaporada se eliminaba de la cámara, a excepción de lo que el material de construcción pudiera absorber ( $0,014\% \text{ h}^{-1}$ ) (Garcia *et al.*, 1990). Además, Reicosky *et al.* (1983) y Steduto *et al.* (2002) observaron una subestimación de la evaporación determinada por el método de la cámara.

Durante la comparación de caudales de aire el  $IC$  y la  $E$  respondieron de manera similar al incremento de  $Q$ . Poni *et al.* (1999) también encontraron una correlación lineal entre  $E$  y  $Q$  en plantas enteras de vid (Pearson 0,93).

Los  $Q$  evaluados fueron comparados para identificar los que lograban los menores valores de  $\Delta T$ . Garcia *et al.* (1990) aseguran que  $\Delta T$  debería ser mantenida por debajo de  $5^\circ\text{C}$  para evitar aumentos en la evapotranspiración debido al incremento del calor sensible y con ello, prevenir modificaciones sustanciales del ambiente en el que se encuentran las plantas antes de colocarlas en el interior de la cámara. La  $\Delta T$  pudo ser mantenida por debajo de este límite con un  $Q$  igual o mayor que  $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . La disminución de la luz registrada dentro de la cámara fue del 5% en promedio. Otros autores reportaron disminuciones entre 8 y 10% (Reicosky *et al.*, 1983), entre 10,5 y 20% (Burkart *et al.*, 2007; Baker *et al.*, 2009; Centinari *et al.*, 2009).

Tal como se esperaba, y debido al aumento de la temperatura, el aumento de  $Q$  ocasionó una disminución en  $\Delta DPV$ , y por lo tanto los valores de  $DPV$  dentro de la cámara se acercaron más al valor de referencia ( $DPV$  exterior). Balogh *et al.* (2007) y Centinari *et al.* (2009) encontraron resultados similares durante la evaluación de sus cámaras de intercambio gaseoso. De acuerdo a estos autores, el nivel de  $Q$  debería ser elevado para aumentar la confiabilidad de las mediciones realizadas con la cámara, ya que las condiciones de medición serían similares a las naturales.

Considerando un incremento de la temperatura dentro de la cámara  $< 4^{\circ}\text{C}$ , valores de DPV dentro de la cámara similares a los exteriores,  $C_i$  con baja variabilidad y con valores cercanos a la evaporación real dentro ( $G_i$ ) y fuera de la cámara ( $G_e$ ), los  $Q$  adecuados para un funcionamiento más preciso de la cámara fueron  $0,022$  y  $0,047 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Durante las determinaciones realizadas sobre la cobertura vegetal utilizando el  $Q$   $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  durante un día, la  $E$  (corregida mediante el valor de  $C_i/G_i$ ) se correlacionó fuertemente con la temperatura y la  $RFA$  dentro de la cámara; Burkart *et al.* (2007) también encontraron una estrecha relación entre ambas variables. El incremento de temperatura de aire podría haber causado un aumento en el DPV y con ello un aumento en la  $E$  de las plantas en el interior de la cámara (Poni *et al.*, 1999).

La  $RFA$  registrada dentro de la cámara fue generalmente menor a la registrada en el exterior, excepto cuando el sol se encontraba en su cenit. En ese momento, la reflexión dentro de la cámara de acrílico puede haber afectado estas mediciones de  $RFA$ . Kiniry *et al.* (1989) aseguran que el  $IC$  diario es proporcional a la radiación recibida, es por ello que las curvas de  $IC$  y de  $RFA$  evolucionaron de manera muy similar. Burkart *et al.* (2007) también encontraron altos coeficientes de correlación entre estas dos variables en remolacha azucarera y trigo (Pearson  $0,92$  y  $0,98$ , respectivamente). Estos autores encontraron coeficientes de correlación un poco menores entre la  $E$  y la temperatura dentro de la cámara para los mismos cultivos (Pearson  $0,75$  y  $0,71$ , respectivamente).

El  $IC$  máximo se registró cuando la  $RFA$  también era máxima. El  $IC$  fue más sensible que la  $E$  a los cambios ambientales, ya que el  $IC$  disminuyó más rápidamente ante la declinación de la  $RFA$ , que la  $E$  cuando se redujo la temperatura. La correlación entre  $E$  y la  $RFA$  también fue elevada. Alrededor de las  $16:00 \text{ h}$   $E$  disminuyó mientras la  $T$  aún se mantenía, por lo tanto la disminución de  $E$  pudo haber estado relacionada con esta reducción de la  $RFA$ . Aparentemente cuando las hojas entran en un episodio de estrés (altas temperaturas, elevado DPV o la falta de agua) ellas disminuyen su fotosíntesis (Larcher, 2003). Pero, el cierre estomático ocurre posteriormente, es por ello que la disminución de  $E$  comienza también un tiempo después.

## Conclusiones

Luego de las determinaciones llevadas a cabo durante la evaluación de la cámara, se concluye que este es un buen sistema para determinar la pérdida de humedad desde un objeto ubicado en su interior, incluso bajo condiciones de elevada evaporación. La determinación de la pérdida de humedad fue diferencial según el  $Q$  utilizado. Se registró una subestimación de la evaporación cuando se la comparó con el método gravimétrico, y esta diferencia fue aún mayor a medida que se aumentó  $Q$ .

De acuerdo a los resultados obtenidos en la comparación de  $Q$ , se decidió trabajar con  $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Junto con el  $Q$   $0,047 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , este fue uno de los más apropiados para un funcionamiento más preciso de la cámara. Con dichos  $Q$  los valores de la evaporación fueron más cercanos a la realidad tanto dentro ( $Gi$ ) como fuera de la cámara ( $Ge$ ); se obtuvieron flujos de intercambio gaseoso con valores medios y baja dispersión; y la temperatura de la cámara no aumentó por encima de  $4^\circ\text{C}$  respecto de la temperatura ambiental.

La cámara tendría ciertas limitaciones si se utilizaran caudales de aire menores a  $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , ya que la temperatura dentro de la cámara aumentaría por encima de los  $5^\circ\text{C}$ , el DPV interno también aumentaría y los flujos de intercambio gaseoso no serían confiables, ya que la cámara modificaría las condiciones ambientales originales en las que se encontraban las plantas. Por otro lado, si la cámara fuera utilizada con el mayor caudal de aire evaluado ( $0,072 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) las determinaciones ( $Ci$ ) tampoco serían confiables ya que serían mucho mayores que la evaporación real tanto dentro ( $Gi$ ) como fuera de la cámara ( $Ge$ ).

En conclusión, se recomienda usar esta cámara de intercambio gaseoso con  $0,022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (o con  $0,047 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) incluso bajo condiciones de elevada evaporación, tal como en los meses de verano en Mendoza, Argentina. Las condiciones microclimáticas monitoreadas dentro de la cámara no se modifican sustancialmente. Se observó una disminución del 5% de la  $RFA$  recibida y un aumento de la temperatura interna de  $3,2^\circ\text{C}$  en promedio. Ya que esta cámara resultó ser muy útil para medir la evapotranspiración y el intercambio de carbono por largos períodos de tiempo en plantas completas de especies

herbáceas, se utilizó posteriormente para el monitoreo anual de las especies nativas bajo evaluación.

# BALANCE DE CARBONO DE COBERTURAS VEGETALES EN UN VIÑEDO BAJO RIEGO LOCALIZADO

## Introducción

Las especies nativas presentan ventajas adaptativas para establecerse como cultivos de cobertura en viñedos bajo riego localizado (Uliarte, 2013). Estas especies de hábito herbáceo crecen natural y espontáneamente en zonas áridas de la provincia de Mendoza. Las mismas poseen diversas estrategias para evitar las pérdidas de agua y maximizar la fotosíntesis (Gibson, 1998). Allí, la provisión de agua para el crecimiento y desarrollo de estas especies depende exclusivamente de la lluvia, aproximadamente 200 – 400 mm (Catania *et al.*, 2012).

Para la región oeste de la Argentina, estudios de cambio climático, predicen concentraciones de CO<sub>2</sub> que varían de 532 hasta 721 ppm, el aumento del volumen total de lluvias en menos eventos más severos, el incremento de la temperatura media anual entre 1,2 y 4°C, la disminución de la precipitación nival en la cordillera de los Andes y con ello, la reducción del volumen de agua en los ríos y el aumento de la demanda de agua debido al crecimiento poblacional (Hulme y Sheard, 1999; Vorosmarty *et al.*, 2000; República Argentina, 2007; Labraga y Villalba, 2009). El aumento de temperatura generaría condiciones de evaporación más elevadas (IPCC, 2007), con menor disponibilidad de agua para riego y mayor déficit hídrico en los oasis de la provincia de Mendoza. Lal (2004) y Hutchinson (2007), entre otros autores, aseguran que el uso de cultivos de cobertura podría ayudar a atenuar las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y con ello mitigar el cambio climático.

Es posible determinar tendencias diarias de intercambio gaseoso, modelado y con ello balances diarios y anuales de plantas enteras mediante el uso de cámaras abiertas en

bosques (Goulden *et al.*, 1998), tundras (Heikkinen *et al.*, 2002), plantas hortícolas (Alterio *et al.*, 2006; Burkart *et al.*, 2007), cultivos de cobertura (Dugas *et al.*, 1997; Müller *et al.*, 2009; Uliarte *et al.*, 2014), entre otros.

En condiciones de oscuridad es posible determinar la respiración de las plantas con el uso de cámaras de intercambio gaseoso, ya que la fotosíntesis es nula (Varela *et al.*, 2010). Por lo tanto, mediante el registro de la fotosíntesis diurna y la respiración nocturna es posible calcular el balance de carbono diario de las plantas (Uliarte, 2013). Con mediciones periódicas, se podría obtener el balance de fijación de CO<sub>2</sub> o el balance de carbono de diferentes tratamientos y también el balance anual de consumo de agua mediante el uso de los registros de evapotranspiración diurnos y nocturnos.

Actualmente existe un protocolo internacional para el cálculo del balance de carbono en la industria vitivinícola (FIVS, 2008). Allí se hace referencia a la influencia del tipo de manejo del suelo y se reconoce un potencial secuestro de carbono por parte de las coberturas vegetales. Pero, hasta el momento, no existe suficiente información para su correcta interpretación.

Poco se conoce del balance de carbono anual de estas especies nativas y su posible aporte al balance o huella de carbono de la industria vitivinícola. Existen datos a nivel de intercambio gaseoso de hojas, pero los mismos son muy difíciles de extrapolar a nivel de planta entera (Field *et al.*, 1995). Uliarte (2013) ha registrado el balance de carbono diario de la especie nativa *D. californica* durante la etapa de su activo crecimiento (5,1 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>).

El objetivo de este capítulo fue contabilizar el balance de carbono y el consumo hídrico (a partir de la evapotranspiración) anual aproximados de *Digitaria californica* (Benth.) Henrard var. *californica*, *Setaria leucopila* (Scribn. & Merr.) K. Schum., *Pappophorum phillippianum* Parodi y *Nassella tenuis* (Phil.) trasplantadas en un viñedo bajo riego localizado y evaluar su desempeño como cobertura vegetal.

## **Materiales y métodos**

### **Parcela experimental**

Las especies nativas utilizadas para realizar su seguimiento del balance de carbono durante su ciclo fueron: *P. phillippianum* (pasto amargo), *D. californica* var. *californica* (pasto plateado), *N. tenuis* (flechilla de invierno) y *S. leucopila* (cola de zorro) (Zuloaga *et al.*, 2008). Las mismas fueron seleccionadas de sus zonas de origen: tres sitios de observación evaluados en el Capítulo 2 (Alto Verde, Santa Rosa; Barrancas, Maipú y Los Árboles, Tunuyán). Las dos primeras especies se repetían en los viñedos evaluados. Las dos restantes fueron elegidas porque en sus sitios de origen eran dominantes, aparentemente tenían mayor habilidad competitiva.

Durante el mes de mayo de 2011 se instalaron las parcelas con las coberturas nativas en el centro del sitio interfilar de un viñedo con riego por goteo ubicado en el INTA, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Mendoza. El cultivo fue implantado con *Vitis vinifera* cv. Cabernet sauvignon en el año 2002. El mismo estaba conducido en espaldera alta con un distanciamiento de 2,5 m entre hileras. En mayo de 2011 se instalaron 5 parcelas de 2 m<sup>2</sup> para cada especie mediante trasplante desde sus zonas de origen. Estas plantas fueron mantenidas durante 6 meses en macetas de 1 litro (una mata por maceta, de tamaños similares) con riegos semanales. Posteriormente, se trasplantaron 17 plantas por parcela en tres hileras (cada 30 cm), las mismas fueron ubicadas en un sistema de tres bolillos (40 cm entre plantas) e inmediatamente se regaron con un balde. Durante los tres días posteriores al trasplante se realizó un riego diario mediante un tanque regador ubicado en un tractor, las aplicaciones fueron muy superficiales, en forma de lluvia, con muy bajo volumen (aproximadamente 10 litros por parcela). A modo de comparación se sumaron dos tratamientos más: suelo descubierto y vegetación espontánea del lugar, este último fue considerado el tratamiento control (Anexo 2). Todas las repeticiones de cada especie fueron distribuidas al azar en dos hileras del correspondiente viñedo.

### **Análisis de suelo**

Se realizaron dos muestreos de suelo en el centro de los interfilares para el análisis de sus características físico-químicas. El primero de ellos se llevó a cabo previo a la

instalación de los tratamientos en abril de 2011. De este modo se pudo corroborar estado inicial de todas las parcelas a evaluar (Tabla 5.1). El segundo se efectuó en mayo de 2013 para reconocer posibles cambios en las características del suelo debido a los tratamientos. Las variables evaluadas son descriptas a continuación. Clasificación textural mediante el volumen de sedimentación (Nijensohn y Pilasi, 1962). Los contenidos de macro-nutrientes fueron contabilizados mediante los métodos de Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982) para nitrógeno total (N) y de Nijensohn (1991) para fósforo disponible (P) y de Knudsen *et al.* (1982) para el potasio intercambiable (K) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); finalmente, los contenidos de materia orgánica (*MOS*) y de carbono orgánico ( $\text{COS} = 0,58 * \text{MOS}$ ) se determinaron según la metodología descrita por Walkley y Black (1934). Además se determinaron algunas variables inherentes a la salinidad del suelo, tal como el pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CEes).

Tabla 5.1. Caracterización físico-química del suelo en los interfilares del viñedo ubicado en el INTA, EEA Mendoza, abril de 2011.

| <b>Variable</b> | <b>Valor</b>            | <b>Clasificación</b>   |
|-----------------|-------------------------|------------------------|
| VS              | 86 ml%g                 | Textura franco arenosa |
| CEes            | 1,88 dS m <sup>-1</sup> | Ligeramente salino     |
| pH              | 7,75                    |                        |
| N               | 577 ppm                 | Bajo                   |
| P               | 2,3 ppm                 | Muy bajo               |
| K               | 532 ppm                 | Muy alto               |
| <i>MOS</i>      | 1,16 %                  | Pobre                  |
| <i>COS</i>      | 0,67 %                  | Pobre                  |

VS: volumen de sedimentación; CEes: conductividad eléctrica del extracto de saturación; pH del extracto de saturación; N: nitrógeno total, P: fósforo disponible, K: potasio intercambiable, *MOS*: materia orgánica del suelo; *COS*: carbono orgánico del suelo. Clasificación según Vallone (2005); Van Hoorn y Van Alphen (1994); Walkley y Black (1934).

Durante el primer ciclo de crecimiento se notó que tanto la cobertura como las plantas de vid de los primeros claros tenían un desarrollo vegetativo muy pobre. Por ello, se analizó por un lado la uniformidad de la erogación de los goteros a lo largo de las hileras para descartar un problema en el sistema de riego. Para ello, se determinó el volumen de agua que erogaban los goteros a lo largo de la manguera durante 1 minuto y luego se calculó el caudal de cada uno y se realizó un ANAVA comparando el caudal por claro de

la hilera de vid (Anexo 4). Por otro lado, se realizó una determinación de la compactación de suelo mediante un penetrómetro (SC 900, Soil Compaction Meter, Spectrum Technologies Inc., USA) para determinar si existían problemas de infiltración. Se determinó el grado de compactación de suelo en el interfilar en el sitio donde pisan las ruedas del tractor, el bordo y el centro de los primeros claros y los centrales (Anexo 5).

Se realizó un muestreo de suelo a distintas profundidades (0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm) y distancias desde la línea de goteo o de plantación hasta el centro del interfilar (0, 30, 60, 90 y 120 cm). El objetivo fue evaluar cómo variaba el contenido hídrico en el perfil del suelo (*CHS*) y si en el centro del interfilar el *CHS* era menor que en la línea de plantas de vid. El *CHS* del suelo disminuyó desde la línea de goteros hacia el centro del interfilar ( $p < 0,001$ ); tal como se esperaba debajo de la línea de goteo el *CHS* fue máximo ( $15 \pm 1$  g%g) y el mismo disminuyó conforme aumentaba la distancia de tal línea, registrando significativamente el menor valor en el centro del interfilar ( $10 \pm 2$  g%g). El *CHS* aumentó en función de la profundidad del suelo ( $p < 0,001$ ), se registró significativamente el mayor valor a 30 cm de profundidad ( $14 \pm 2$  g%g) y el menor valor a 10 cm de profundidad ( $11 \pm 3$  g%g) (Anexo 3).

### **Desarrollo fenológico**

Desde el inicio del crecimiento vegetativo de las plantas se realizó un registro semanal de las etapas fenológicas de cada especie: crecimiento vegetativo, espigazón (desde que la espiga se hace visible), dispersión de frutos y receso vegetativo (detención del crecimiento y amarillamiento de hojas). El registro del desarrollo fenológico de las especies se realizó siguiendo la metodología detallada por Dalmaso (1994) durante los ciclos 2011/2012 y 2012/2013.

### **Porcentaje de cobertura**

Para la determinación del porcentaje de cobertura (PC) se utilizó el método de la cuerda con cuentas de Sarrantonio (1995); con una cuerda de 2 m de longitud marcada cada 10 cm. Las determinaciones se realizaron durante los meses de enero y mayo de 2012 y 2013 en cada parcela de aproximadamente 2 m<sup>2</sup>. El PC inicial de todas las especies trasplantadas fue aproximadamente de 25%.

## **Producción de biomasa**

Se realizaron dos segados de la cobertura durante los meses de diciembre y marzo de cada uno de los ciclos de crecimiento (2011/2012 y 2012/2013) para determinar la producción de materia fresca (MF) y materia seca (MS) de cada repetición. Previo al mismo se determinó la altura máxima de las plantas (AM) como el promedio de la altura de diez plantas por repetición.

La cobertura fue segada a 10 cm de la superficie del suelo, se tomaron tres muestras con marcos de  $0,16 \text{ m}^2$  ( $0,4 \times 0,4 \text{ m}$ ) de cada parcela de evaluación (Monteiro y Lopes, 2007). El material vegetal recolectado, fue identificado, pesado (MF) en el laboratorio, secado al aire hasta peso constante y pesado nuevamente (MS) (Acculab, Massachussets, USA); luego se dividió por la superficie segada ( $0,16 \text{ m}^2$ ) y finalmente se obtuvo un promedio de la producción de MS por cada parcela en cada segado. Se calculó la producción anual de MS por cada repetición como la suma de ambos valores de MS obtenidos durante un mismo ciclo de crecimiento [ $\text{g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ ]. Además, se determinó la cantidad de  $\text{H}_2\text{O}$  (g) presente en la masa vegetal segada por cada g de MF, como el cociente entre la diferencia (MF – MS) y la MF. Para comparar el contenido hídrico relativo en las hojas o la masa vegetal segada (*CHH*), ya que se han registrado diferencias significativas entre especies nativas y exóticas cultivadas (Uliarte y del Monte, 2009).

## **Intercambio gaseoso diario y anual**

Las mediciones de intercambio gaseoso se efectuaron utilizando la cámara para canopia entera con un sistema abierto, mencionada en el Capítulo 4. La misma posee forma cilíndrica de 60 cm de diámetro y 70 cm de altura (Czóbel *et al.*, 2005; Centinari *et al.*, 2009). El monitoreo de gases se realizó mediante el IRGA CIRAS-2 de PP Systems (Massachussets, USA). Se buscó que en los días de medición el cielo siempre estuviera completamente despejado para evitar la influencia de la nubosidad en los flujos de intercambio gaseoso (que tal como se registró en el Capítulo 4, la nubosidad fue muy influyente en la fotosíntesis y la transpiración de las plantas).

Se colocó la cámara en el centro de cada una de las repeticiones, quedando en su interior de dos a tres plantas según el tratamiento, y se selló parte basal con tierra para

evitar la fuga de aire. El IRGA registró los valores de concentración exterior e interior de  $\text{CO}_2$  y vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  durante 5 min. Los primeros 2 min de registro fueron necesarios para lograr la estabilización de los flujos de intercambio gaseoso. Estas determinaciones se realizaron entre las 11 y las 15 horas, cada 2 meses o según la disponibilidad del equipamiento. Además, durante los días de medición y al atardecer se realizaron las mismas determinaciones con una cámara oscura, tapada con papel aluminio para evitar el aumento de temperatura en su interior. De esta manera, se buscó registrar la respiración nocturna aproximada de cada repetición. En este caso se necesitaron 3 minutos para la estabilización y 3 minutos para la medición. Al finalizar la determinación se realizó la determinación del PC dentro de la cámara mediante el método de la cuerda con cuentas (Sarrantonio, 1995) con una regla de 60 cm graduada cada 1 cm usándola en 2 direcciones perpendiculares entre sí. Estos valores fueron luego utilizados para poder comparar el  $IC$  y la  $E$ , multiplicándolas por el PC (excepto el tratamiento con suelo descubierto) durante la determinación del balance de carbono.

Mediante el cociente entre  $IC$  y  $E$  se calculó la eficiencia en el uso de agua ( $EUA$ ) de cada tratamiento, la unidad de medida fue  $[\text{g CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}]$  (Uliarte, 2013).

Para realizar el cálculo del balance de carbono anual de cada tratamiento, como el área bajo la curva, en primer lugar, se multiplicaron los valores de intercambio de carbono diurno ( $IC$ ) y nocturno ( $ICN$ )  $[\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}]$  por las horas del día y de la noche, según correspondiera; de esta manera, se eliminó la variable tiempo de ambos flujos de carbono. Posteriormente, los valores obtenidos se multiplicaron por el peso atómico de la molécula de  $\text{CO}_2$  ( $44 \text{ g mol}^{-1}$ ) para lograr obtener las unidades finales  $[\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2}]$ . Luego, se obtuvieron los balances parciales para cada fecha de medición (día juliano) como la suma de los valores de intercambio de carbono diurno ( $IC$ ) y nocturno ( $ICN$ ) ya calculados. Por último, se calculó el balance anual como la integral o el área bajo la curva de balances diarios versus el día juliano utilizando el método de los trapecios mediante el software matemático MatLab® (MathWorks Inc., Massachusetts, USA).

Del mismo modo que con el balance de carbono, se realizó una aproximación al consumo hídrico anual de cada tratamiento con la evapotranspiración registrada durante el día ( $E$ ) y la noche ( $EN$ ). En este caso, las unidades finales fueron  $[\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O m}^{-2}]$  o lo que es

equivalente [mm de H<sub>2</sub>O]. Tal como se especificó anteriormente, las determinaciones se realizaron en el centro del interfilas donde el contenido hídrico del suelo correspondía al menor valor desde la línea de goteo.

Además se realizaron determinaciones de respiración de suelo (*RS*) y evaporación de suelo (*ES*) con una cámara de suelo cerrada SRC-1 (PP Systems, Massachusetts, USA) junto con el IRGA CIRAS-2. Las mismas se llevaron a cabo el día después de las determinaciones de intercambio gaseoso de las plantas. Se realizaron dos mediciones de 2 min en cada una de las repeticiones, finalmente esos valores fueron promediados y evaluados. En todas las oportunidades la superficie del suelo fue removida para facilitar la colocación de la cámara en el suelo (Koerber *et al.*, 2010).

La respiración de microorganismos, raíces de la cobertura y raíces de las plantas de vid constituirían la *RS*. La respiración basal (*Rb*) se consideró como la resta entre la *RS* de los tratamientos con cobertura y la *RS* registrada en el tratamiento con suelo descubierto (Koerber *et al.*, 2010). La *Rb* estaría conformada por la respiración de las raíces de la cobertura y de los microorganismos correlacionados con dicha cobertura.

### **Análisis estadístico**

Se llevó a cabo el ANAVA de los datos obtenidos durante la evaluación del desarrollo de la cobertura vegetal y el análisis de suelo en función de los tratamientos, para la obtención de la figura del Anexo 3C se realizó un análisis de conglomerados (promedio: *average linkage*; distancia *Euclídea*); todos los análisis se realizaron mediante el software estadístico InfoStat (2014). En todos los casos se corroboraron la distribución normal y la homogeneidad de la varianza de los datos evaluados. El software SigmaPlot 11.0 (Systat Software, California, USA) fue utilizado para representar gráficamente los resultados.

## Resultados

### Análisis de suelo

Al momento de realizar las determinaciones correspondientes en las parcelas, sólo se evaluaron 4 repeticiones de cada tratamiento. Fue necesario descartar las parcelas de los primeros claros debido al escaso desarrollo vegetativo, no sólo de la cobertura sino también de las plantas de vid. No se encontró diferencias en la erogación de goteros de los claros a lo largo de cada línea de riego ( $1,63 \pm 0,1 \text{ l h}^{-1}$ ; CV 5,8) (Anexo 4), aunque sí se registraron diferencias en el grado de compactación del suelo, debido al alto grado de roturación que se realizó en el suelo previo al trasplante de las especies. Los primeros claros se encontraban muy compactados ( $> 5 \text{ MPa}$  a los 10 cm de profundidad), en comparación con los claros centrales ( $1,6 \text{ MPa}$  a los 10 cm de profundidad) (Anexo 5). Diversos autores establecen valores entre 2 y 2,5 MPa como límite de la resistencia de las raíces a la penetración del suelo, mayores grados de compactación podrían afectar el crecimiento normal de las raíces de varios cultivos (Van Huyssteen, 1983). En la norma ASAE S313.3 (ASABE, 2006), los autores aseguran que  $< 5 \text{ MPa}$  de resistencia a la penetración del suelo es adecuada para la mayoría de los suelos cultivables.

El ANAVA no arrojó diferencias significativas en las variables de fertilidad, salinidad y materia orgánica del muestreo inicial de suelo ( $p > 0,05$ ). Por lo tanto, las parcelas donde se ubicaron las repeticiones de los tratamientos iniciaron sin diferencias significativas en sus características físico-químicas del suelo.

En el análisis de la varianza de cada una de los parámetros evaluados no se registró diferencia significativa entre tratamientos con cobertura espontánea, con especies nativas ni el tratamiento con suelo descubierto (Tabla 5.2). Sin embargo, sí hubo diferencias significativas entre los valores iniciales y finales (2011 y 2013) para CEes, pH, *MOS* y K (Tabla 5.3). Se registró un aumento significativo de la *MOS* de 1,16% en el 2011 a 1,39% en el 2013 y de la salinidad del suelo, con un aumento promedio desde 1,88 a 5,57  $\text{dS m}^{-1}$  (aunque con elevado CV). Además, también se registró una disminución del pH del suelo (de 7,75 a 7,54) y del contenido de K entre los análisis inicial y final (570 y 247, respectivamente) también con elevado CV en las determinaciones.

Tabla 5.2. Resultados del análisis de suelo, análisis de la varianza en función del tratamiento y del año de muestreo.

| Variable        | CEes [dS m <sup>-1</sup> ] |       |           | pH |      |          | MOS [%] |      |           |
|-----------------|----------------------------|-------|-----------|----|------|----------|---------|------|-----------|
|                 | gl                         | CM    | F         | gl | CM   | F        | gl      | CM   | F         |
| Tratamiento (T) | 5                          | 1,23  | 0,74 ns   | 5  | 0,01 | 0,56 ns  | 5       | 0,03 | 0,93 ns   |
| Año (A)         | 1                          | 158,4 | 96,15 *** | 1  | 0,52 | 29,4 *** | 1       | 0,70 | 25,24 *** |
| T*A             | 5                          | 0,90  | 0,54 ns   | 5  | 0,01 | 0,29 ns  | 5       | 0,01 | 0,25 ns   |
| Error           | 43                         | 5,01  |           | 41 | 0,02 |          | 43      | 0,03 |           |
| CV [%]          |                            | 38,2  |           |    | 1,7  |          |         | 13,2 |           |

| Variable | N [mg kg <sup>-1</sup> ] |       |         | P [mg kg <sup>-1</sup> ] |      |         | K [mg kg <sup>-1</sup> ] |         |           |
|----------|--------------------------|-------|---------|--------------------------|------|---------|--------------------------|---------|-----------|
|          | gl                       | CM    | F       | gl                       | CM   | F       | gl                       | CM      | F         |
| T        | 5                        | 14218 | 2,30 ns | 5                        | 0,57 | 1,93 ns | 5                        | 179131  | 1,50 ns   |
| A        | 1                        | 145,0 | 0,02 ns | 1                        | 0,03 | 0,09 ns | 1                        | 66564   | 30,48 *** |
| T*A      | 5                        | 990,9 | 0,16 ns | 5                        | 0,08 | 0,27 ns | 5                        | 1352840 | 1,20 ns   |
| Error    | 43                       | 6180  |         | 43                       | 0,30 |         | 40                       | 53090   |           |
| CV [%]   |                          | 13,6  |         |                          | 24,4 |         |                          | 50,8    |           |

CEes: conductividad eléctrica en el extracto de saturación; pH en el extracto de saturación; MOS: materia orgánica del suelo; N: nitrógeno total, P: fósforo disponible; K: potasio intercambiable. Nivel de significancia: \*\*\* ( $p < 0,001$ ), ns ( $p > 0,05$ ).

Tabla 5.3. Resultados del análisis de suelo, comparación estadística de los valores inicial (2011) y final (2013).

| Año  | CEes [dS m <sup>-1</sup> ] | pH     | MOS [%] | N [mg kg <sup>-1</sup> ] | P [mg kg <sup>-1</sup> ] | K [mg kg <sup>-1</sup> ] |
|------|----------------------------|--------|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2011 | 1,88 b                     | 7,75 a | 1,16 b  | 576,6 a                  | 2,26 a                   | 570,1 a                  |
| 2013 | 5,57 a                     | 7,54 b | 1,39 a  | 578,4 a                  | 2,20 a                   | 247,3 b                  |

CEes: conductividad eléctrica en el extracto de saturación; pH en el extracto de saturación; MOS: materia orgánica del suelo; N: nitrógeno total, P: fósforo disponible; K: potasio intercambiable. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas en cada columna (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

### Desarrollo fenológico

*P. phillippianum*, *S. leucopila* y *D. californica* son especies del tipo C<sub>4</sub> y poseen un ciclo de crecimiento estival, por lo tanto mostraron ciclos fenológicos muy similares entre sí (Fig. 5.1). El periodo vegetativo inició a principios de septiembre, la espigazón comenzó hacia finales de octubre y la dispersión de frutos a principios de diciembre, esta última

etapa se extendió hasta finales de abril. Desde la mitad del mes de mayo hasta el inicio del periodo vegetativo las plantas permanecieron senescentes, es decir con sus hojas amarillentas y secas.

Un patrón diferente mostró *N. tenuis*, la única especie C<sub>3</sub>, que posee un ciclo de crecimiento otoño – invierno – primaveral (Fig. 5.1). La misma mantuvo sus hojas verdes durante prácticamente todo el ciclo, aunque la mayoría de sus hojas registró una detención del crecimiento y amarillamiento durante la época invernal (mayo – junio – julio) y sobre todo la estival (enero – febrero). Las etapas de espigazón y diseminación de frutos comenzaron con anterioridad a las restantes especies (septiembre y noviembre, respectivamente). La etapa de diseminación de frutos fue más corta y finalizó en enero.

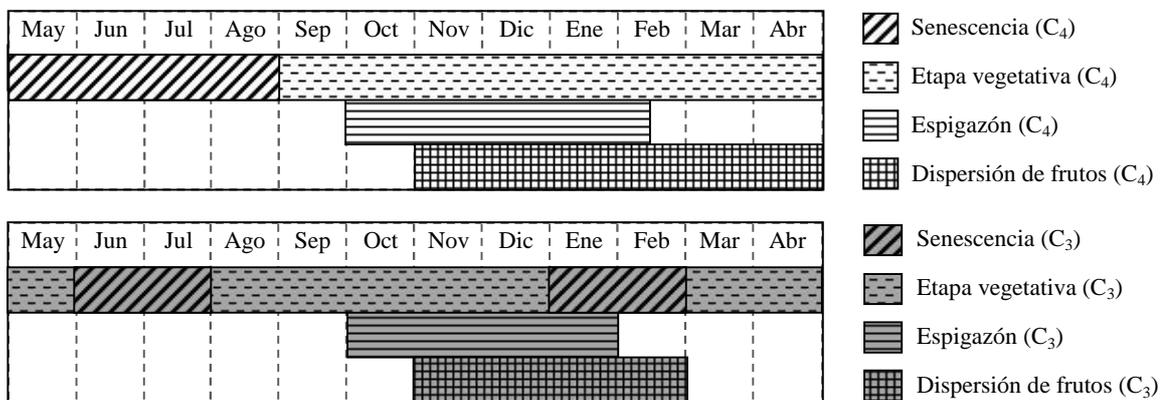


Fig. 5.1. Etapas del desarrollo fenológico (senescencia, vegetativa, espigazón y dispersión de frutos) de las especies C<sub>4</sub> (*D. californica*, *P. phillippianum* y *S. leucopila*) y C<sub>3</sub> (*N. tenuis*). Promedio de dos ciclos de crecimiento (2011/12 y 2012/13).

### Porcentaje de cobertura

Los tratamientos iniciaron con diferente porcentaje de cobertura (PC), los trasplantados con especies nativas iniciaron con PC = 25% y el control con PC = 0%. Por ello se realizó el análisis comparativo del porcentaje de aumento del PC ( $\Delta$ PC) o sea de la diferencia entre el PC final y el PC inicial.

Las especies *N. tenuis* y *D. californica* aumentaron significativamente más su PC (47 y 44%, respectivamente). Luego les siguieron *P. phillippianum* (21%), *S. leucopila* (16%) y finalmente el control (8%). Los dos últimos tratamientos no se diferenciaron estadísticamente entre ellos (Fig. 5.2).

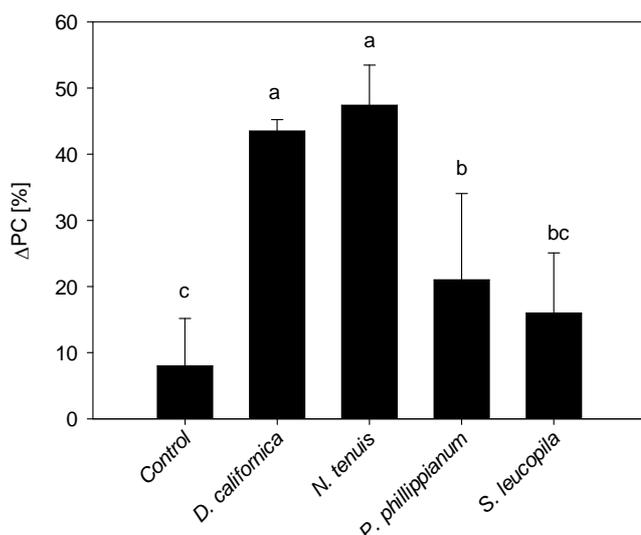


Fig. 5.2. Porcentaje de aumento de cobertura verde del suelo ( $\Delta PC$ ) para cada tratamiento + DE. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ).

### Producción de biomasa

En la evaluación de la producción de MS y MF anual se registraron diferencias significativas entre los tratamientos y entre ambos ciclos de crecimiento ( $p < 0,001$ ), pero no hubo interacción de variables ( $p > 0,05$ ). La producción de MS de las especies nativas se diferenció significativamente del control ( $69 \text{ g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ ) (Fig. 5.3A). *S. leucopila* y *D. californica* registraron las mayores producciones de MS ( $302$  y  $272 \text{ g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ ), le siguieron *N. tenuis* y *P. philippianum* con  $230$  y  $180 \text{ g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ , respectivamente. Del mismo modo, la mayor producción de MF fue para *S. leucopila* y *D. californica* ( $764 \text{ g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ , promedio anual de ambas especies) y no se registraron diferencias estadísticas entre ellas. La producción de MF fue similar entre *N. tenuis* y *P. philippianum* ( $435$  y  $399 \text{ g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ , respectivamente). Finalmente, el tratamiento control registró la menor producción de MF anual ( $200 \text{ g m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ ).

Tanto la producción de MS como la de MF fue significativamente mayor en el segundo ciclo de crecimiento (2012/13) que en el primero (2011/12) (Fig. 5.3B).

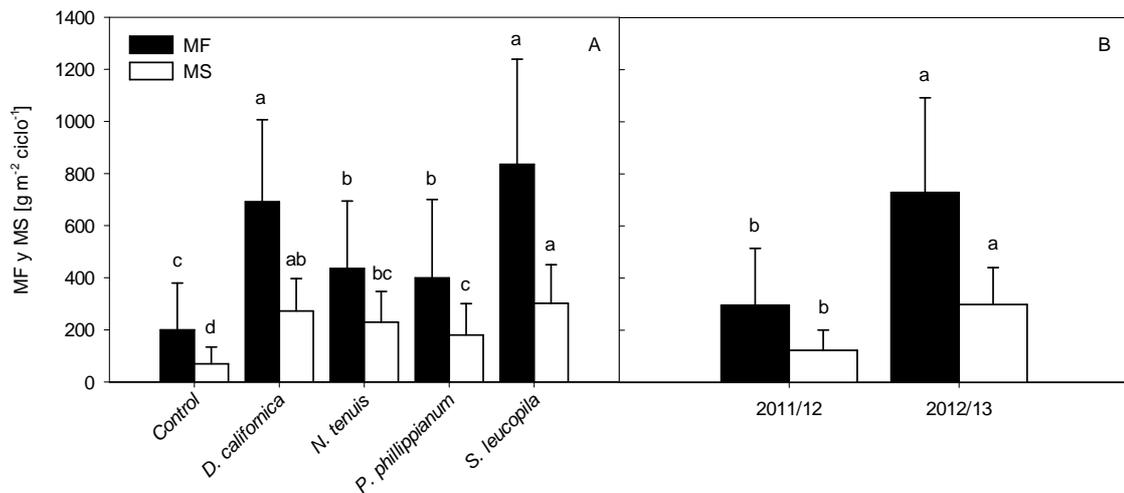


Fig. 5.3. Producción de materia seca (MS) y materia fresca (MF) de cada tratamiento (A) y cada ciclo de medición (B); valores medios + DE. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y entre ciclos para cada variable graficada (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

Las repeticiones del tratamiento control mostraron variabilidad en las especies espontáneas, se encontraron principalmente: *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L., *Conyza bonariensis* L., *Flaveria bidentis* (L.) O. Kuntze., *Kochia scoparia* L. Schrad., *Malva parviflora* L., *Portulaca oleracea* L., *Rapistrum rugosum* (L.) All., *Taraxacum officinale* G. Weber ex F.H. Wigg, *Salsola kali* L. var. *kali*, *Sisymbrium irio* L., *Sonchus oleraceus* L., *Wedelia galuca* (Ortega) O. Hoffm. ex Hicken, entre otras.

Los resultados obtenidos en la comparación de medias del contenido hídrico relativo en las hojas o la masa vegetal segada (*CHH*) indican que hubo efecto significativo de la interacción entre el tratamiento y el ciclo de medición ( $p < 0,001$ ). Por ello se compararon los tratamientos en cada ciclo de medición por separado (Fig. 5.4). En el primer ciclo de crecimiento (2011/12) *S. leucopila* y *D. californica* registraron los mayores valores de *CHH* y no se diferenciaron entre sí ( $0,62 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ MF}$ , en promedio). Con valores intermedios, el *CHH* de *P. philippianum* no se diferenció del tratamiento control ( $0,52 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ MF}$ , en promedio); finalmente, el *CHH* de *N. tenuis* fue significativamente el menor valor ( $0,46 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ MF}$ ). Durante el segundo ciclo de crecimiento (2012/13) el tratamiento control y *S. leucopila* registraron los mayores valores de *CHH* y no se diferenciaron entre sí ( $0,67 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ MF}$ , en promedio para los dos tratamientos); *D. californica* registró valores intermedios ( $0,59 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ MF}$ ); y *P. philippianum* junto con

*N. tenuis* registraron los menores valores y no se diferenciaron entre ellas ( $0,44 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ MF}$ , en promedio).

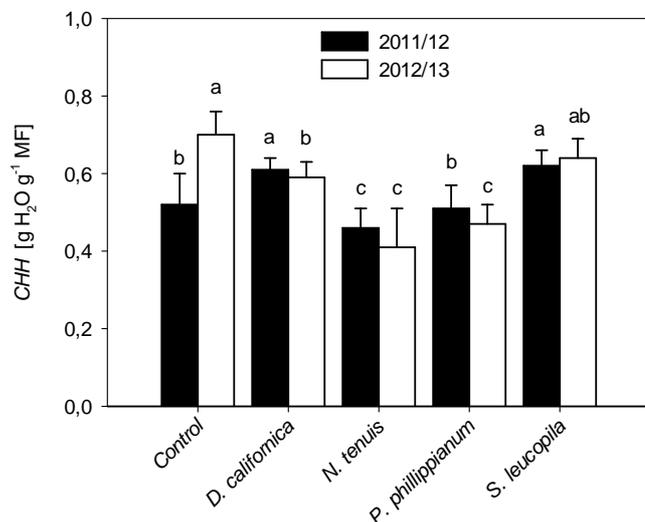


Fig. 5.4. Contenido de agua en las hojas o la masa vegetal segada (*CHH*) para cada tratamiento en cada ciclo de medición; valores medios + DE. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada ciclo de medición (Test LSD,  $\alpha 0,05$ ).

Durante el análisis de la varianza de la AM de las plantas se registraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,001$ ) y entre ciclos de crecimiento ( $p 0,013$ ), pero no hubo interacción de variables ( $p 0,335$ ). Las plantas más altas correspondieron a la especie *D. californica* (77 cm), le siguieron *S. leucopila* (58 cm), luego *N. tenuis* y *P. philippianum* sin diferencias entre ellas (45 cm en promedio) y finalmente el tratamiento control (20 cm) (Fig. 5.5A). Al igual que con la producción de MF y MS, en el segundo ciclo de crecimiento (2012/13) se registró una mayor AM de plantas en todos los tratamientos (Fig. 5.2B).

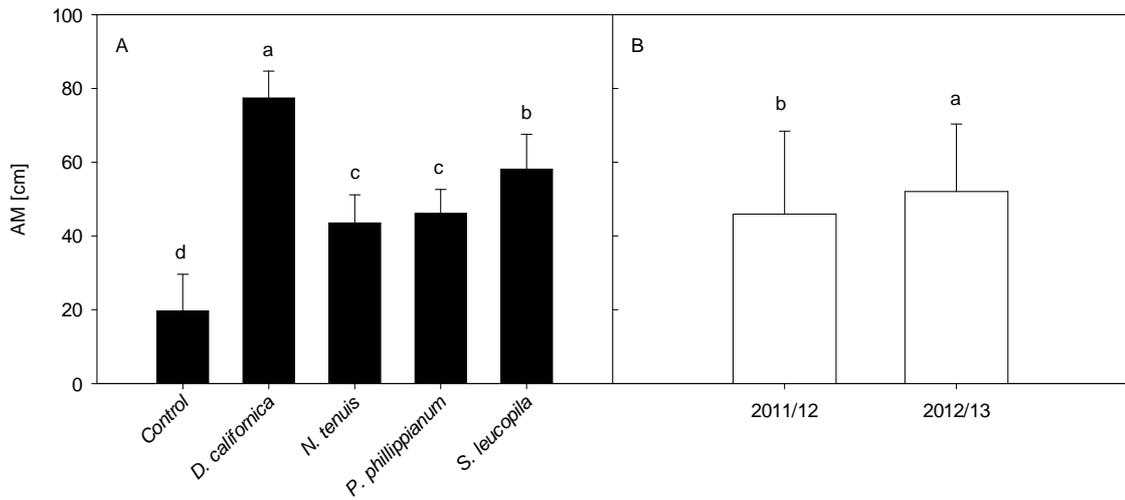


Fig. 5.5. Altura máxima de las plantas (AM) para cada tratamiento (A) y cada ciclo de medición (B); valores medios + DE. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y entre ciclos (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

### Intercambio gaseoso diario y anual

En la Fig. 5.6 se puede observar que el intercambio de carbono (*IC*) y la eficiencia de uso de agua (*EUA*) varían de una forma muy similar al PC dentro de la cámara. Se corroboró una correlación positiva y estadísticamente significativa entre el *IC* y la *EUA* con el porcentaje de cobertura (PC) determinado dentro de la cámara en el momento de medición para cada uno de los tratamientos con cobertura vegetal (Pearson 0,50 y 0,49, respectivamente;  $p < 0,001$ ).

Se realizó el análisis de la varianza de las variables graficadas en la Fig. 5.6 y se observó una interacción positiva entre el tratamiento y la época de evaluación para *IC*, *EUA* y PC. El *IC* de *N. tenuis*, el tratamiento control y el suelo descubierto fueron similares en las distintas épocas de medición ( $p > 0,05$ ). En cambio, para *D. californica*, *S. leucopila* y *P. philippianum* los valores de *IC* fueron mayores durante las épocas verano y primavera. Todos los tratamientos con cobertura vegetal a excepción de *S. leucopila* registraron diferencias en la *EUA* para las distintas épocas evaluadas ( $p < 0,05$ ); en general, los mayores valores se registraron en verano y otoño. El PC, determinado dentro la cámara, de *D. californica*, *N. tenuis* y el tratamiento control no se modificó según la época de medición ( $p > 0,05$ ); en cambio, *P. philippianum* y *S. leucopila* registraron los mayores PC en las épocas de verano y de otoño. En cuanto a la *E*, sólo en la época de otoño se

registraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,01$ ); los mayores valores fueron para el tratamiento control y *N. tenuis*.

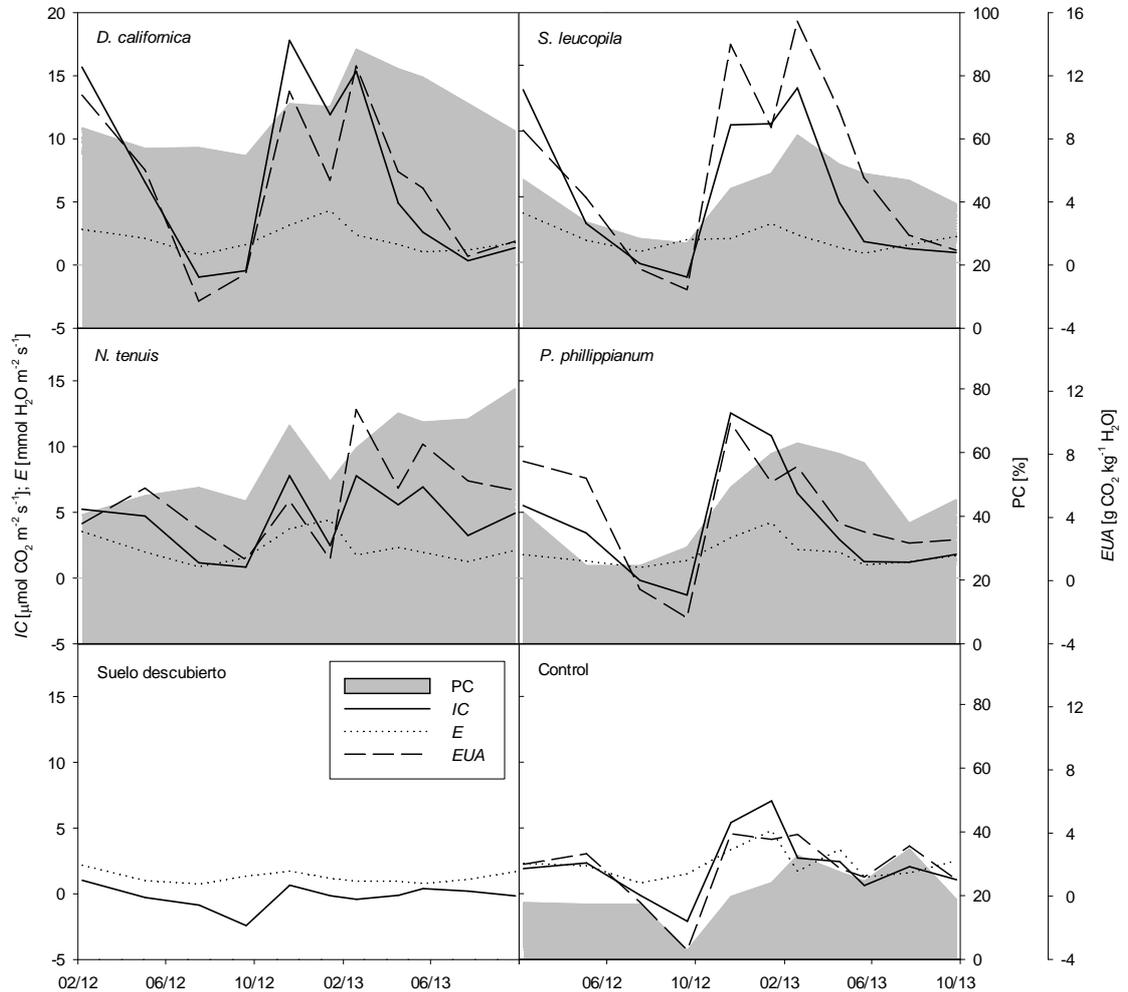


Fig. 5.6. Porcentaje de cobertura de suelo (PC), intercambio de carbono (IC), evapotranspiración (E) y eficiencia en el uso de agua (EUA) para cada tratamiento en los diferentes momentos de medición (tratamiento con suelo descubierto solo se presentan IC y E).

Se determinó el PC promedio dentro de la cámara ( $0,28 \text{ m}^2$ ) al momento de las mediciones de intercambio gaseoso. El tratamiento con *D. californica* registró en promedio el mayor PC (73%); *N. tenuis*, *P. phillippianum* y *S. leucopila* registraron valores intermedios y no se diferenciaron entre sí (47%), y el tratamiento control registró el menor valor (21%). Debido a las diferencias significativas entre tratamientos, se calculó el balance de carbono relativo y el consumo hídrico relativo. Para ello, se dividió el valor

original o absoluto por el PC medio de cada tratamiento. Los resultados absolutos y relativos para cada tratamiento se observan en la Fig. 5.7.

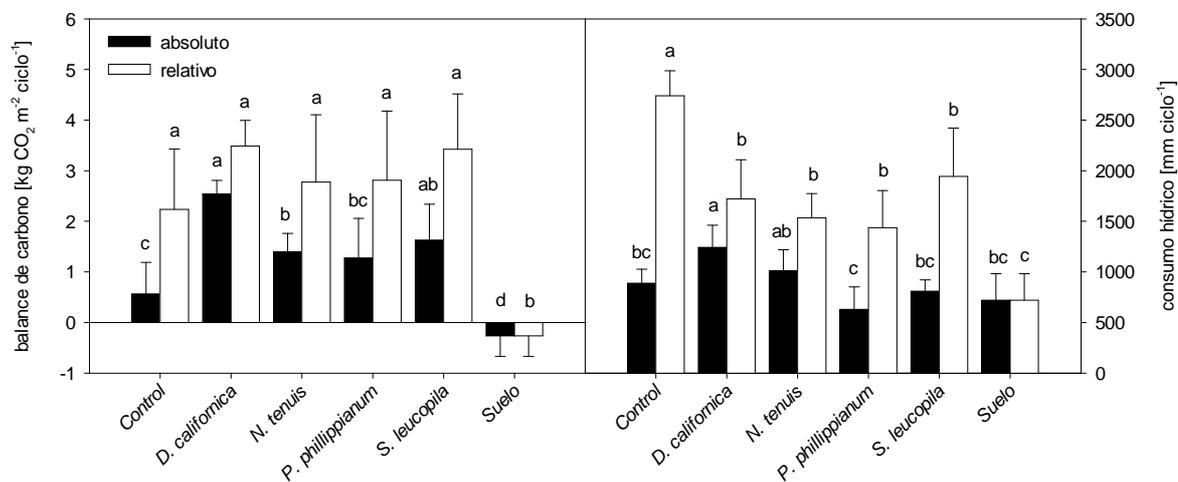


Fig. 5.7. Aproximación al balance anual de CO<sub>2</sub> y al consumo hídrico anual absoluto (original) y relativo (dividido por el porcentaje de cobertura) para cada tratamiento. Letras distintas indican diferencias significativas entre columnas del mismo color (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

*D. californica* y *S. leucopila* registraron el mayor balance anual de carbono absoluto de todos los tratamientos (2,14 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>). La última especie no se diferenció de *N. tenuis* y *P. philippianum*, estas especies registraron valores intermedios (1,44 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>). El tratamiento control, compuesto por la vegetación espontánea, registró un valor significativamente menor (0,56 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>), aunque no se diferenció de *P. philippianum*. Por último, el tratamiento con suelo descubierto registró el menor balance de carbono aproximado con -0,27 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>, el signo negativo indicaría liberación de CO<sub>2</sub>. En cuanto al consumo hídrico potencial anual, calculado mediante la evapotranspiración diaria, *D. californica* y *N. tenuis* registraron significativamente los mayores valores (1127 mm). Los tratamientos control, *S. leucopila*, suelo descubierto y *P. philippianum* no se diferenciaron entre sí, los mismos registraron un valor promedio de 762 mm por ciclo.

Los tratamientos con especies nativas y con cobertura espontánea registraron similares balances de CO<sub>2</sub> relativos. Los mismos, con un promedio anual de 2,94 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>, se diferenciaron estadísticamente del suelo descubierto, el cual liberó 0,27 kg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> por ciclo. El consumo hídrico relativo anual fue máximo para el tratamiento control (2740

mm), intermedio para las especies nativas (1908 mm) y mínimo para el tratamiento con suelo descubierto (721 mm).

La evolución de la temperatura del suelo (*TS*), la evaporación del suelo (*ES*) y la respiración del suelo (*RS*) fue similar para todos los tratamientos, ya que no se registraron diferencias significativas cuando se compararon estadísticamente (Fig. 5.8). Con algunas excepciones registradas en enero y febrero de 2013 para *TS* (*N. tenuis*, suelo y control registraron valores significativamente mayores al resto de los tratamientos), julio de 2012 para *ES* (*P. phillippianum* y *S. leucopila* con valores significativamente mayores al resto) y noviembre de 2012 para *RS* (*D. californica* con un valor significativamente mayor a los restantes tratamientos).

En la Fig. 5.8 se observa una disminución notable de *ES* durante las mediciones de los meses de noviembre 2012, enero 2013 y febrero 2013. Esta situación se registró para todos los tratamientos.

La *ES* no mostró diferencias significativas entre las épocas de medición ( $p > 0,056$ ), aunque los mayores valores se registraron en primavera y en verano, y la variabilidad en sus determinaciones fue muy elevada (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Evaporación del suelo (*ES*), respiración de suelo (*RS*) y temperatura de suelo (*TS*) determinadas mediante cámara la cerrada de intercambio gaseoso SRC-1 (PP Systems) para cada época de medición  $\pm$  DE.

| Época     | <i>ES</i><br>[mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ] | <i>RS</i><br>[μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ] | <i>Rb</i><br>[μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ] | <i>TS</i><br>[°C] |
|-----------|---|--|--|-------------------|
| Invierno  | 44,9±28,2 a   | 0,7±0,2 d  | 0,15±0,23 b  | 5,9±0,7 d         |
| Otoño     | 54,5±33,9 a   | 2,5±1,5 b  | 0,46±1,57 b  | 14,6±3,1 c        |
| Primavera | 68,5±43,0 a   | 1,7±0,7 c  | 0,30±0,57 b  | 17,4±4,9 b        |
| Verano    | 68,3±69,1 a   | 4,2±1,9 a  | 1,79±1,81 a  | 24,7±1,7 a        |

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable (Test LSD,  $\alpha > 0,05$ ).

En general, para todos los tratamientos, los mayores valores de *RS* se registraron en las épocas de verano y otoño; y los menores valores durante el invierno; y con respecto a la respiración basal del suelo (*Rb*) los mayores valores también se registraron en verano (Fig. 5.8; Tabla 5.4). En cambio, *TS*, tal como se esperaba, registró los mayores valores en verano, luego primavera, otoño y finalmente invierno ( $p < 0,001$ ). Estas dos variables

evolucionaron de manera muy similar a *TS*; la correlación de Pearson fue altamente significativa ( $p < 0,001$ ) y mayor entre las variables *RS* y *TS* (0,79) y altamente significativa aunque menor entre *Rb* y *TS* (0,46).

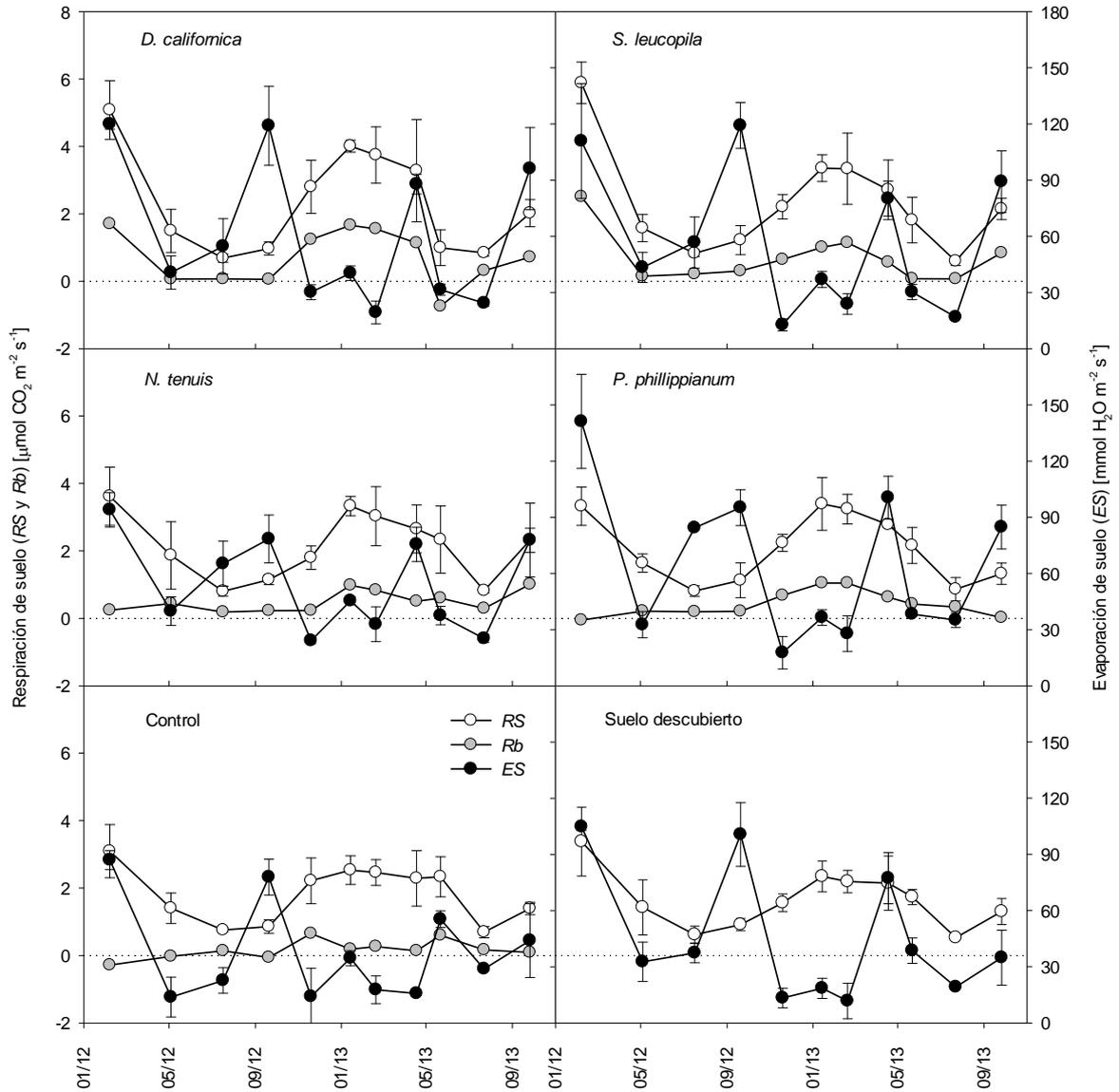


Fig. 5.8. Temperatura media del suelo (*TS*, cuadrados negros)  $\pm$  DE, respiración de suelo total (*RS*, círculos blancos)  $\pm$  DE, y respiración basal (*Rb*, círculos grises) calculada como la resta entre *RS* y la *RS* del suelo descubierto. Valores promedio para cada tratamiento en función de los momentos de medición.

## Discusión

El aumento significativo de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación del suelo (CEes) de la parcela donde se ubicó el ensayo fue causado por el cambio de manejo de riego. Hasta el 2011 se regaba de manera superficial, pero luego el cambio a riego por goteo ocasionó un desplazamiento longitudinal de sales hacia el centro del interfilas, donde se encuentra la cobertura (Hanson *et al.*, 2006).

El contenido de la materia orgánica del suelo (*MOS*) aumentó significativamente desde el inicio del ensayo en 2011 hasta el año 2013 en los interfilas del viñedo donde se ubicó el ensayo. Dicho aumento se registró tanto en las parcelas con cobertura como en las parcelas con suelo descubierto. Desde la implantación del viñedo en el año 2002 el suelo se mantuvo sin cobertura y libre de malezas mediante roturación en el interfilas (4 – 5 veces al año) y herbicida en la línea de plantas. El manejo de suelo conservacionista como el uso de labranza reducida o labranza cero aumentaría la riqueza de *MOS*, ya que disminuirían las pérdidas por mineralización y aumentaría la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Lal, 1997; Ingels *et al.*, 1998; Sainju *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2008). El tratamiento no ejerció ningún efecto sobre el contenido del *MOS*. Lal (1997) asegura que el uso de una cobertura vegetal enriquecería el suelo con materia orgánica, aunque Uliarte y del Monte (2006a) indican que necesitaron más de 4 años desde la implantación de una cobertura vegetal permanente para registrar aumento significativo de la *MOS* en los interfilas de un viñedo comercial. El aumento registrado de *MOS* fue sólo de 0,22%, a pesar de ello este es un valor importante para los suelos áridos de Mendoza donde el contenido de *MOS* es muy bajo (Hudson *et al.*, 1990).

En el corto plazo no se modificaron los contenidos de N total y de P, aunque si se registró una disminución significativa del K y del pH. El agua de riego por superficie en Mendoza es muy rica en K debido a los coloides y arcillas en suspensión, al cambiar el sistema de riego superficial por localizado (agua filtrada) se suprimió tal aporte de K que se realizaba regularmente con el riego superficial (Pérez Valenzuela, 1999). Por otro lado, parte del K existente en el suelo puede haber sido perdido por lixiviación con las lluvias, ya que durante el intercambio iónico de las arcillas, los cationes polivalentes son más fuertemente retenidos o adsorbidos que los monovalentes como el  $K^+$  (uno de los cationes

con menos afinidad de adsorción). Aunque es poco importante, en cultivos bajo riego de la región Cuyana en Mendoza, se han registrado pérdidas de K por percolación profunda y más aún en suelos ácidos con suficiente disponibilidad de agua (Pérez Valenzuela, 1999). La disminución de bases en el suelo ( $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ) debido al consumo por parte de un cultivo (en este caso, de la cobertura vegetal) o también por lavado (proveniente de las lluvias), provoca una disminución del pH del suelo o aumento de la acidez. Además, el aumento de la *MOS* y su descomposición puede provocar la disminución del pH del suelo, aunque según algunos autores también podría disminuir la acidez o no modificarla en lo absoluto (Pocknee y Sumner, 1997).

Tal como se esperaba, el desarrollo fenológico de las especies  $C_4$  con crecimiento activo durante el verano (*P. phillippianum*, *S. leucopila* y *D. californica*) se diferenció de la especie  $C_3$  (*N. tenuis*), la cual posee un ciclo de crecimiento otoño – invierno – primaveral. Las especies  $C_4$ , con su periodo vegetativo estival, brotan en septiembre, espigan en octubre, en diciembre inician su dispersión de frutos y finalmente en abril comienza el receso vegetativo. Este hecho coincide con el mayor registro de *IC* de durante las épocas verano y primavera para las especies *D. californica*, *S. leucopila* y *P. phillippianum* ya que poseen un ciclo de crecimiento estival. Ciclos fenológicos similares fueron registrados por Dalmaso (1994) trabajando con los mismos géneros y/o especies aunque en condiciones no agrícolas; aunque en el presente ensayo, las etapas de espigazón y diseminación de frutos fueron más extendidas. Esto pudo deberse al segado de la cobertura vegetal. Para todas las especies evaluadas los registros de las etapas fenológicas fueron sensiblemente diferentes según la temporada de medición. Esta variación puede estar relacionada con los factores ambientales inherentes a cada año y ciclo de crecimiento (Dalmaso, 1994; Larcher, 2003). Asimismo, en evaluaciones realizadas en otras condiciones y sitios registraron ciclos más cortos de espigazón (noviembre y diciembre) y de dispersión de frutos (Dalmaso *et al.*, 2008).

*N. tenuis* y *D. californica* aumentaron el PC inicial de la parcela completa en aproximadamente 46%, *P. phillippianum* y *S. leucopila* aumentaron sólo el 19% su PC y finalmente, el tratamiento control fue el que menos aumentó su PC (8%) aunque no se diferenció estadísticamente de *S. leucopila*. Esto pudo deberse al tipo de arquitectura de las plantas, por ejemplo *S. leucopila* posee un crecimiento erecto, con una distribución de MS

piramidal y diámetro de plantas entre 5 y 7 cm; por más que estas plantas son altas (cf. Fig. 5.5), la mayor cantidad de MS se acumula en los primeros 15 cm de la planta desde su base (Cavagnaro *et al.*, 1983).

Las especies nativas evaluadas durante el presente ensayo producirían menor cantidad de MF con respecto a especies comúnmente cultivadas en viñedos bajo riego superficial, pero producen comparativamente elevada cantidad de MS debido a un menor contenido de agua en la masa vegetal aérea (Uliarte y del Monte, 2009). Esta característica representa una ventaja de las especies nativas sobre las exóticas cultivadas de alto requerimiento hídrico cuando se las utiliza como coberturas vegetales.

Los resultados del contenido relativo de agua en la masa vegetal segada son similares o incluso mayores a los obtenidos por Uliarte en su tesis de doctorado trabajando con gramíneas nativas (0,41 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> MF, en promedio) y con especies exóticas cultivadas (0,53 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> MF, en promedio) (datos no publicados). Ceccato *et al.* (2001) también muestran valores similares para hojas de árboles (0,60 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> MF), de arbustos (0,61 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> MF) y de gramíneas (0,58 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> MF). A pesar de ello, estos valores son menores a los reportados por Garnier y Laurent (1994) para 14 especies de gramíneas, que van entre 0,70 y 0,86 g H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup> MF.

*N. tenuis* y *P. phillippianum* produjeron menor proporción de MF y MS, y registraron la menor cantidad de agua por cada g de MS producida. A pesar de ello, la mayor EUA se registró para *D. californica* y *P. phillippianum* (cf. Fig. 5.6). En concordancia, en un ensayo con especies nativas y cultivadas creciendo en macetas, Uliarte (2013) registró mayor eficiencia de uso de agua para estas especies (*D. californica* y *P. phillippianum*) con respecto a otras nativas, aunque sin diferencias estadísticas entre ellas.

Además de lograr los mayores PC finales, *N. tenuis* y *D. californica* registraron la mayor producción de MF y MS por ciclo de crecimiento. Estas características serían algunas de las requeridas entre las especies para su establecimiento como cultivos de cobertura.

En el ciclo de crecimiento 2012/13 la producción de MS, MF y la altura máxima (AM) de las plantas de todos los tratamientos fue más elevada que en 2011/12. Este hecho

coincide con el registro de precipitaciones para dichos años. Durante el ciclo 2011/12 (entre agosto de 2011 y julio de 2012) se registraron 257 mm de lluvia y en el ciclo 2012/13 (entre agosto de 2012 y julio de 2013) fueron 317 mm, según los datos aportados por la Estación Meteorológica del INTA, EEA Mendoza. La mayor disponibilidad de agua aparentemente se tradujo en una mayor producción de biomasa. Esto demuestra la capacidad que tienen las especies de crecer en función de la disponibilidad hídrica (Villagra *et al.*, 2011).

Plantas más altas en una cobertura vegetal requerirían mayor frecuencia de segado y más aún en primavera, ya que la cobertura vegetal aumentaría la susceptibilidad del viñedo a las heladas tardías (Donaldson *et al.*, 1993). En función de dicha característica el uso de las especies *N. tenuis* y *P. phillippianum* presentarían ventajas con respecto a *D. californica*, ya que las mismas poseen una AM promedio de 45 cm.

El tratamiento control obtuvo significativamente el menor aumento de PC (aunque el registro fue similar a *S. leucopila*), la menor producción de MF y MS, y el mayor contenido de agua en la masa vegetal segada. Las especies encontradas en la vegetación espontánea variaron entre las repeticiones y en las épocas de muestreo. Las mismas eran principalmente herbáceas (95%), anuales (77%) y exóticas (77%), y sólo algunas nativas como *C. bonariensis*, *F. bidentis* y *W. glauca*, entre otras. *C. arvensis*, *M. parviflora* y *W. glauca* son malezas muy importantes, agresivas y competitivas en los viñedos de Mendoza (Cucchi y Becerra, 2009) y *C. bonariensis* también es una maleza importante debido a su resistencia a herbicidas (Dinelli *et al.*, 2008). Estas malezas compiten principalmente por la disponibilidad hídrica durante toda la vida de un viñedo y por lo tanto podrían reducir su rendimiento (Cucchi y Becerra, 2009). Algunos autores aseguran que la baja disponibilidad de agua en interfilares de viñedos con riego localizado complicaría el establecimiento de especies exóticas comúnmente utilizadas como coberturas vegetales (Logan, 2009; Uliarte y del Monte, 2009); aunque en el presente ensayo la disponibilidad de agua (debido a la influencia del riego) no impidió el crecimiento de especies espontáneas, principalmente exóticas y anuales.

En los tratamientos con cobertura vegetal, mientras mayor fue el PC mayores fueron el IC y la EUA. Aparentemente el aumento de la fijación de CO<sub>2</sub>, debido al aumento de la cobertura, fue mayor que el aumento de la E, por lo tanto la EUA se acrecentó.

Los tratamientos suelo descubierto, control y *N. tenuis* registraron similares valores de *IC* en las distintas épocas del año. El tratamiento suelo siempre se mantuvo en las mismas condiciones, el control tuvo especies creciendo activamente durante todo el año y *N. tenuis* registra actividad vegetativa prácticamente durante todo el año. Es por ello que también se registró una mayor *E* durante el otoño para el tratamiento control y *N. tenuis* que para el resto de los tratamientos. La eficiencia de uso de agua (*EUA*) fue menor durante el invierno y la primavera. En el invierno la mayoría de las especies nativas evaluadas se encuentran en receso vegetativo. En la primavera, en cambio, las plantas se encuentran creciendo activamente y su transpiración aumentaría más que el *IC*, y la *EUA* sería menor.

Al observarse diferencias significativas en el *PC* de los tratamientos, se afectaron el balance de carbono y el consumo hídrico de cada tratamiento. Luego, las diferencias estadísticas entre tratamientos cambiaron. Los balances de carbono relativos de las coberturas de especies nativas y espontáneas fueron similares entre sí y estadísticamente mayores al suelo descubierto. En cuanto al consumo hídrico anual, los valores relativos fueron estadísticamente similares para las especies nativas, aunque menores que la cobertura espontánea, la cual estaba formada principalmente por especies exóticas. El menor consumo relativo de agua fue para el suelo descubierto.

Las especies *D. californica* y *S. leucopila* registraron el mayor balance de carbono (*C*) anual absoluto con valores de 16 – 25 tn CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, lo que corresponde a 4 – 7 tn C ha<sup>-1</sup>. Estos valores son elevados si se los compara con los balances integrales de ecosistemas completos (Goulden *et al.*, 1998). Esto se debe a que, en el presente trabajo, sólo se estimó el balance de carbono anual a partir de los registros del intercambio gaseoso y no se tuvieron en cuenta las pérdidas probables de CO<sub>2</sub> durante la mineralización del material vegetal segado.

La emisión de CO<sub>2</sub> por parte del tratamiento con suelo descubierto durante el mes de febrero de 2013 (-1,2 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>) fue 59% menor que el valor registrado por Uliarte *et al.* (2013) en Geisenheim, Alemania (-2,9 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>). Este mismo autor registró un balance diario de 5,1 g m<sup>-2</sup> para *D. californica* para finales de septiembre (hemisferio Norte) y un valor mayor se obtuvo en el presente ensayo para la misma especie, la cual registró un balance diario de 7,1 g m<sup>-2</sup> durante el mes de abril de 2013 (hemisferio Sur).

El consumo hídrico fue similar tanto para el tratamiento con suelo descubierto como para algunos tratamientos con cobertura vegetal. Uliarte (2013) registró, luego de una lluvia, valores de  $E$  de coberturas vegetales similares a la evaporación del suelo roturado y sin roturar. Dos ensayos realizados en viñedos ubicados en Australia (Yunusa *et al.*, 1997) y en USA (Centinari *et al.*, 2012) indican que la  $E$  de una cobertura vegetal fue 27 – 36% de la  $E$  total de dichos viñedos.

Algunos autores aseguran que el uso de una cobertura vegetal requiere un aporte hídrico adicional para su mantenimiento (Ingels y Klonsky, 1998; Prichard, 1998), lo cual aumentaría el consumo hídrico de un viñedo con riego superficial (Prichard, 1998; Uliarte y del Monte, 2006b; Monteiro y Lopes, 2007). Por otro lado, un estudio de flujos hídricos integrales comparando viñedos con suelo descubierto, coberturas vegetales permanentes y temporarias, estimó un balance anual de agua similar en los diferentes sistemas (Ripoche *et al.*, 2010). En el presente ensayo, el consumo hídrico relativo del suelo descubierto aumentó 2,6 veces (164%) con la cobertura vegetal nativa (especies monocotiledóneas) y 3,8 veces (280%) con la cobertura vegetal espontánea (especies mono y dicotiledóneas). Una investigación efectuada bajo condiciones controladas en Mendoza estimó un aumento del consumo hídrico por parte coberturas vegetales nativas de 13 – 21%, y de hasta el 40% con especies exóticas perennes, con respecto al suelo descubierto (Uliarte *et al.*, 2014). Sin embargo, los cultivos de cobertura compensan parcialmente el consumo por transpiración aumentando la infiltración, reduciendo el escurrimiento y disminuyendo la evaporación del agua (Celette *et al.*, 2008).

Se registró un consumo relativo de agua de entre 1908 y 1127 mm con el uso de coberturas y de 762 mm con suelo descubierto. Estos valores están muy por encima de la precipitación promedio del año 2012, la cual fue de 285 mm (Estación meteorológica, INTA, EEA Mendoza). Por lo tanto, se supone que las coberturas consumieron agua no sólo de la aportada por la lluvia, sino también de la agregada mediante el riego por goteo en la línea de plantación del viñedo. Cabe destacar que estos consumos hídricos son potenciales (no reales) debido a que se trata de una estimación anual a partir de mediciones mensuales.

La respiración del suelo es altamente modificada por su temperatura (Fang y Moncrieff, 2001), por ello estas variables evolucionaron de manera muy similar y fueron correlacionadas positivamente.

Frank *et al.* (2002) sugieren que el manejo de suelo juega un rol significativo en la respiración edáfica, ya que registraron un aumento del flujo de CO<sub>2</sub> debido al mayor contenido de *COS* y carbono en la biomasa microbiana. En el presente trabajo no se registraron diferencias en el análisis de suelo en cuanto a su fertilidad, *MOS* y *COS*. Este hecho coincide con la falta de diferencias entre las variables *RS*, *ES*, *Rb*, *TS* las cuales fueron similares para todos los tratamientos. Más que al uso o no de una cobertura, en tres años sólo se diferenció toda la parcela en estudio debido al cambio de manejo de suelo de roturación (4 – 5 veces al año) a labranza cero, lo que provocó un aumento de la *MOS* y el *COS*.

## **Conclusiones**

El cambio de manejo de suelo -de descubierto con roturación periódica a labranza cero con el suelo descubierto, cobertura espontánea y cobertura nativa durante 3 años- provocó un aumento en la *MOS*. Además se registró una disminución en el contenido de K y el pH debido al cambio de manejo del suelo. Se registró también un aumento significativo de la salinidad del suelo, el cual fue atribuido al cambio del sistema de riego de la parcela.

Todas las especies nativas trasplantadas en un viñedo con riego por goteo completaron sus ciclos fenológicos. De ellas, las especies C<sub>4</sub> mostraron ciclos similares y, a su vez, diferentes de la especie C<sub>3</sub>. Las C<sub>4</sub> iniciaron la dispersión de sus frutos en diciembre y la especie C<sub>3</sub> lo hizo en noviembre. Se deben tener en cuenta dichas fechas para realizar la cosecha de semillas o para favorecer su crecimiento, sin realizar segados, hasta que las mismas puedan diseminar sus semillas y reproducirse exitosamente. Aunque sería conveniente tener en cuenta que los factores ambientales de cada año pueden influir en el inicio y el fin de las etapas fenológicas. Asimismo, es necesario tener en cuenta el período de espigazón de las especies y evitar el segado de la cobertura en ese momento,

para favorecer la dispersión de frutos, mantener el banco de semillas del suelo y aumentar la cobertura de estas especies de manera natural y sin costo.

El tratamiento control con vegetación espontánea obtuvo significativamente el menor aumento de PC, la menor producción de MF y MS, el mayor contenido de agua en la masa vegetal segada y la menor AM promedio. El balance de carbono anual relativo fue estadísticamente similar al resto de las especies nativas. El consumo hídrico anual absoluto fue estadísticamente similar al resto de los tratamientos (excepto *D. californica*), sin embargo su consumo relativo de agua fue el mayor de todos los valores. Varias de las especies espontáneas eran malezas muy agresivas y competitivas, e incluso una de ellas ha demostrado resistencia a herbicidas. Por lo tanto, estas especies no serían deseadas en el cultivo de vid ya que podrían reducir su rendimiento y aumentar significativamente el consumo de agua.

La cobertura vegetal en el interfilar del viñedo no sólo consume agua proveniente de las precipitaciones, sino también de la aportada por difusión debido al riego por goteo. El segundo ciclo de crecimiento fue más productivo, tanto en MS como en MF para todas las coberturas, dado por un mayor aporte del agua proveniente de precipitaciones y a que las coberturas habían aumentado considerablemente su PC (> 15%) y la superficie de exploración de sus raíces. Tanto la vegetación espontánea, compuesta por especies exóticas, como las especies nativas tienen la capacidad de crecer en función de la disponibilidad hídrica.

Este tratamiento con suelo descubierto mostró una clara emisión de CO<sub>2</sub> que, en el transcurso de un año, que fue en promedio 12 veces menor que el balance relativo de CO<sub>2</sub> de los tratamientos con coberturas vegetales. Dicha emisión estaría directamente relacionada con la temperatura del suelo. El consumo hídrico absoluto del suelo descubierto (proveniente de la evaporación) resultó ser similar al resto de los tratamientos, excepto por *D. californica*. Sin embargo, el consumo hídrico relativo fue estadísticamente menor que el resto de los tratamientos. Por lo tanto, en este viñedo con riego por goteo, el consumo hídrico relativo de las parcelas con suelo descubierto fue 2,6 veces menor que con cobertura vegetal nativa y 3,8 veces menor que con cobertura vegetal espontánea.

*N. tenuis* aumentó en mayor medida su PC determinado dentro de la cámara y no se modificó significativamente durante el año. Esta especie produjo menores cantidades de MF que *S. leucopila* y *D. californica*, aunque la producción de MS fue similar a dichas especies, ya que el contenido relativo de agua en la masa vegetal segada fue uno de los menores valores en ambos años de medición; su altura máxima promedio fue de 45 cm. Su balance de carbono relativo fue similar al resto de los tratamientos con cobertura vegetal, nativa y espontánea. Su consumo hídrico relativo fue similar al resto de las especies nativas y menor que el tratamiento control. La mayor *E* se registró en el otoño, y este valor fue significativamente mayor a la *E* de otras especies debido al ciclo de crecimiento otoño – invierno – primaveral. Esta especie se encuentra naturalmente dispersa en zonas de elevada altitud, a partir de los 950 m.s.n.m. (Cavagnaro, 1988). A pesar de ello, se estableció exitosamente a 925 m.s.n.m. y posee buenas perspectivas para ser utilizada como cobertura vegetal.

*D. californica* registró un aumento de PC significativamente superior al resto de los tratamientos y similar a *N. tenuis*; dicho PC no se modificó durante las distintas épocas de medición de un mismo ciclo de crecimiento. Además, esta especie produjo elevadas cantidades de MF y MS, aunque similares a *S. leucopila*. El contenido hídrico en la masa vegetal segada fue elevado en ambos años de medición. Esta especie también registró el mayor consumo hídrico absoluto anual, aunque sin diferenciarse de *N. tenuis*, y un consumo hídrico relativo similar al resto de las especies nativas. El mayor *IC* fue registrado durante las épocas de verano y primavera. Esta especie alcanzó el mayor balance de carbono absoluto anual de los tratamientos evaluados (aunque fue estadísticamente similar a *S. leucopila*); dicho valor fue similar al resto de los tratamientos con cobertura vegetal cuando fue afectado por el PC. Esta especie con mayor eficiencia en su metabolismo fotosintético y con elevada capacidad de fijar CO<sub>2</sub>, tendría ventajas ante las demás especies a la hora de secuestrar el carbono; aunque la altura máxima (AM) de sus plantas sería una desventaja a la hora del mantenimiento y el aumento del riesgo de heladas en los viñedos.

*S. leucopila* fue la especie nativa que aumentó su PC en menor proporción que el resto de los tratamientos, aunque su  $\Delta PC$  fue similar al tratamiento control, a pesar de ello produjo elevada cantidad de MF y MS; el contenido hídrico en su masa vegetal segada fue

elevado y la AM de sus plantas fue de 58 cm. Coincidiendo con el ciclo de crecimiento estival, los mayores valores de *IC* y *E* fueron registrados durante la primavera y el verano. Esta especie registró uno de los mayores balances de carbono absoluto anual, aunque el valor relativo fue similar al resto de los tratamientos con cobertura vegetal. Del mismo modo, el consumo hídrico relativo fue estadísticamente similar al resto de las especies nativas pero menor que el tratamiento control.

El aumento del PC de *P. philippianum* fue intermedio al igual que la AM de sus plantas y su producción de MF, la producción de MS fue la menor de las especies nativas. El balance de carbono absoluto y el consumo hídrico absoluto anual fueron bajos y los valores relativos fueron similares al resto de las especies nativas.

# EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y PESO DE SEMILLAS

## Introducción

En la Provincia Fitogeográfica del Monte se desarrollan diversas especies herbáceas nativas, principalmente gramíneas perennes tolerantes a la sequía: *Sporobolus*, *Nassella*, *Setaria*, *Digitaria*, *Pappophorum*, *Leptochloa*, entre otras (Parodi, 1964; Roig, 1969; Ruiz Leal, 1972; Roig, 1976). Estas especies poseen diversos diseños estructurales y estrategias para maximizar la fotosíntesis y evitar las pérdidas de agua (Gibson, 1998). Las mismas presentan ventajas para establecerse exitosamente en interfilares de viñedos con riego localizado, donde la humedad disponible es menor que en interfilares con riego superficial. La baja disponibilidad de agua complica el establecimiento de especies exóticas comúnmente utilizadas como coberturas vegetales en interfilares con riego localizado (Logan, 2009; Uliarte y del Monte, 2009).

Las coberturas vegetales de suelo en viñedos colaboran en la conservación de su estructura, el mejoramiento de la infiltración, el incremento de la actividad biológica, la oxigenación de las raíces del cultivo, la reducción de la compactación, la incorporación de materia orgánica y la mejora de la tracción para permitir el ingreso de la maquinaria agrícola luego de una lluvia o un riego (Ingels y Klonsky, 1998). Estas ventajas conllevan a que los viticultores establezcan coberturas vegetales, ya sea por siembra o permitiendo el desarrollo de especies espontáneas. Los únicos antecedentes locales sobre el uso de estas especies nativas en viñedos, es el establecimiento espontáneo en cultivos instalados en un suelo virgen bajo riego localizado (Uliarte, 2013) y un intento fracasado de establecerlas en interfilares de un viñedo bajo riego superficial (Cavagnaro y Dalmaso, 1986).

En países como Estados Unidos y Canadá se comercializan semillas de especies nativas para su utilización como coberturas vegetales en viñedos (Costello, 1999; Ingels *et al.*, 2005). En Australia se llevan a cabo proyectos para el estudio de especies nativas y su utilización en el manejo de suelos de viñedos comerciales (Penfold *et al.*, 2005). En Argentina no se dispone comercialmente de semillas de estas especies debido a que no existe información suficiente acerca de su crecimiento, desarrollo reproductivo y capacidad germinativa.

Semillas de *Setaria lachnea* (Nees) Kunth, *Setaria leucopila* y *Sporobolus cryptandrus* poseen muy bajo poder germinativo (PG) (Schrauf *et al.*, 1998; Sartor y Marone, 2010). Sin embargo, cuando los cariopses de *S. lachnea* fueron despojados de sus coberturas el PG aumentó significativamente, ya que se eliminaron también los inhibidores presentes en dichas coberturas (Schrauf *et al.*, 1998). La germinación de las especies silvestres o nativas suele ser baja debido a la latencia en sus semillas (Heise, 1988). Sartor y Marone (2010) aseguran que las especies *S. cryptandrus* y *S. leucopila* dispersan una gran proporción de semillas durmientes. La dormición de semillas permitiría garantizar las condiciones ambientales favorables para éxito de su reproducción (Harper, 1977).

La temperatura óptima para la germinación de *Sporobolus spicatus* (Vahl) Kunth fue de 35°C (El-Keblawy *et al.*, 2009) y para *Sporobolus ioclados* (Trin.) Nees entre 20 y 30°C (Khan y Gulzar, 2003). *Stipa longiglumis* (Phil.) germinó significativamente más en el rango de temperaturas de 22 a 27°C alcanzando PG cercanos al 100%, sobre todo cuando los antecios (cariopses con glumas y glumelas) se encontraban ubicados superficialmente en el suelo (Hernández, 1999), evidenciando un efecto positivo de la luz sobre la germinación de esta especie. El mismo efecto también se evidenció sobre la germinación de semillas de *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler (Vivian *et al.*, 2008) y *Leptochloa chinensis* (L.) Nees (Benvenuti *et al.*, 2004). Se han registrado altos porcentajes de germinación de semillas de *Digitaria californica* y *Pappophorum caespitosum* R.E. Fr. germinando a 30°C (Sartor y Marone, 2010).

El peso de semillas tiene una implicancia ecológica relacionada con la dispersión y el establecimiento (Swanborough y Westoby, 1996), la supervivencia de sus plántulas (Roach, 1987; Venable y Brown, 1988) y la reproducción, ya que puede condicionar la germinación (Schaal, 1980; Roach, 1987; Venable y Brown, 1988; Zhang y Maun, 1990;

Kidson y Westoby, 2000). Además, el peso de semillas es vital para el cálculo de la densidad de siembra.

El objetivo del ensayo fue determinar cuáles son las condiciones óptimas para la germinación de cada especie nativa, de manera que aseguren su establecimiento y una buena resiembra natural cuando son utilizadas como coberturas vegetales en viñedos con riego localizado. De este modo, avanzar en la selección de la o las especies más aptas para ser propagadas, cosechadas y sembradas (mecánica o manualmente) en viñedos comerciales con riego localizado.

## **Materiales y métodos**

### **Germinación**

La evaluación de la germinación se realizó usando semillas cosechadas desde noviembre a diciembre de 2011 en las plantas cultivadas en macetas. Todas las semillas fueron desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 8% (2 g de cloro activo l<sup>-1</sup>) y luego enjuagadas tres veces con agua destilada (Ibañez y Passera, 1997). La germinación se realizó en una cámara de crecimiento tipo “Jacobsen” a 15, 20, 25, 30 y 35°C.

Cada repetición estuvo conformada por 25 semillas colocadas en una caja de Petri de 90 mm de diámetro con algodón y papel de filtro, humedecidas con agua destilada (Ponce *et al.*, 2006). Se realizaron seis repeticiones por especie y para cada temperatura ensayada. Tres de estas repeticiones fueron colocadas en condiciones de luz (Ciclo diario: 15 h de luz y 9 h de oscuridad) y las tres restantes en oscuridad permanente. Para impedir la llegada de luz a estas últimas se colocó una lámina de papel aluminio sobre cada caja de Petri (Funes *et al.*, 2009).

Se dejaron germinar durante 28 días y el conteo de semillas germinadas se realizó cada dos días en las repeticiones con luz, y al finalizar este período de tiempo en las repeticiones bajo oscuridad. Se consideró a una semilla germinada en el momento en que emergió la radícula (Sartor y Marone, 2010). Una vez finalizado este lapso de tiempo se realizaron las determinaciones del porcentaje de germinación (PG) y la velocidad de

germinación calculada a través el tiempo medio de germinación (TMG) (Brenchley y Probert, 1998). Además, se calculó el índice de germinación relativo a la luz (GRL), utilizando la siguiente fórmula:  $GRL = GL / (GL + GO)$ , donde GL es el PG en condiciones de luz y GO es el PG en oscuridad permanente (Milberg *et al.*, 2000).

Los cariopses (frutos secos simples e indehiscentes) de *S. leucopila* y *S. cryptandrus* no germinan con facilidad debido a que poseen algún tipo de dormición física o química. Esto puede deberse a la impermeabilidad de la cobertura de las semillas como es en el caso de *S. cryptandrus* (Jackson, 1928) o a la presencia de inhibidores en la envoltura de los cariopses de *Setaria lachnea* (Nees) Kunth (Schrauf *et al.*, 1998). Para solucionar este inconveniente los ensayos de germinación fueron llevados a cabo con las semillas escarificadas; las semillas se frotaron 15 veces aproximadamente entre dos papeles de lija (AA #80).

### **Peso de 1000 semillas**

Se determinó el peso de 1000 semillas para cada una de las especies evaluadas mediante el uso de una balanza Sartorius (Modelo LC 12005, New York, USA) con una precisión de 0,001 g. Las semillas o unidades de dispersión fueron cosechadas en el mes de noviembre de los años 2011 y 2012.

En el caso de *P. philippianum* se pesaron los grupos de antecios unidos por la raquilla sin glumas, cada uno acompañado de sus glumelas (Correa, 1978). Los antecios de *N. tenuis* fueron pesados completos, cariopse fusiforme junto con su arista. También se pesaron los antecios completos de *L. dubia*, formados por el cariopse castaño claro acompañado de sus glumelas. En el caso de *S. cryptandrus* se pesaron los cariopses fértiles, ya que éstos se separan con facilidad de las glumas y la glumela estéril (Correa, 1978). Se determinó el peso de las espiguillas unifloras de *D. californica* y las espiguillas bifloras de *S. leucopila* rodeadas por las glumas (Correa, 1978).

### **Análisis estadístico**

En una primera etapa se realizó un ANAVA con el PG y el TMG para todas las especies. Luego, se determinó la regresión del PG en función de la temperatura para cada una de las especies; sólo se graficaron las regresiones estadísticamente significativas.

Finalmente, se llevó a cabo la regresión lineal del TMG en función de la temperatura para cada tipo de metabolismo fotosintético ( $C_3$  y  $C_4$ ). El software SigmaPlot 11.0 (Systat Software, California, USA) fue utilizado para representar gráficamente los resultados.

## Resultados

### Germinación

El PG de cada especie fue afectado de manera diferencial o no afectado por las condiciones de temperatura y luz ( $p < 0,001$ ). Se registró un efecto estadísticamente significativo de la interacción especie\*temperatura\*luz sobre el PG ( $p < 0,001$ ), por lo tanto se decidió evaluar cada especie por separado.

Al realizar el análisis de la varianza del PG en función de la temperatura, de la luz y de la interacción de ambas variables, se observaron respuestas diferentes para cada especie evaluada (Tabla 6.1). El PG de *D. californica* y *S. leucopila* no fue afectado por la interacción de la temperatura y la condición de luz, la germinación de las restantes cuatro especies sí fue afectada por la interacción de ambas variables. EL PG de *D. californica* sólo fue afectado por la condición de luz y el PG de *S. leucopila* no fue afectado por ninguna de las variables involucradas.

La germinación de las semillas escarificadas de *S. leucopila* no fue afectada por la temperatura, la luz o la interacción de ambas variables. De acuerdo al índice GRL 0,62 la germinación de esta especie no fue afectada por la luz, ya que según Funes *et al.* (2009) y su índice de germinación relativo a la luz (GRL), esta especie sería indiferente a la luz (Tabla 6.2). El PG medio de *S. leucopila* fue  $26 \pm 14\%$  en condiciones de luz y  $16 \pm 11\%$  en oscuridad permanente, lo cual correspondió a un promedio de  $21 \pm 13\%$  en todas las condiciones ensayadas (Fig. 6.1).

Tabla 6.1. Resultados del ANAVA del porcentaje de germinación de cada especie.

| Especie                | <i>D. californica</i> |     |          | <i>L. dubia</i> |      |          | <i>N. tenuis</i> |      |          |
|------------------------|-----------------------|-----|----------|-----------------|------|----------|------------------|------|----------|
| Fuente de variabilidad | gl                    | CM  | F        | gl              | CM   | F        | gl               | CM   | F        |
| Temperatura (T)        | 4                     | 24  | 0,7 ns   | 4               | 2516 | 24,7 *** | 4                | 942  | 13,6 *** |
| Luz (L)                | 1                     | 513 | 15,6 *** | 1               | 1783 | 17,5 *** | 1                | 4030 | 58,2 *** |
| T*L                    | 4                     | 15  | 0,4 ns   | 4               | 697  | 6,8 **   | 4                | 424  | 6,1 **   |
| Error                  | 20                    | 33  |          | 20              | 102  |          | 20               | 69   |          |
| CV [%]                 | 6                     |     |          | 29              |      |          | 48               |      |          |

| Especie                | <i>P. phillippianum</i> |      |          | <i>S. cryptandrus</i> |      |          | <i>S. leucopila</i> |     |        |
|------------------------|-------------------------|------|----------|-----------------------|------|----------|---------------------|-----|--------|
| Fuente de variabilidad | gl                      | CM   | F        | gl                    | CM   | F        | gl                  | CM  | F      |
| T                      | 4                       | 550  | 5,2 **   | 4                     | 4308 | 58,1 *** | 4                   | 258 | 2,0 ns |
| L                      | 1                       | 4600 | 43,2 *** | 1                     | 134  | 1,8 ns   | 1                   | 530 | 4,0 ns |
| T*L                    | 4                       | 497  | 4,7 **   | 4                     | 235  | 3,2 *    | 4                   | 164 | 1,3 ns |
| Error                  | 20                      | 106  |          | 19                    | 74   |          | 18                  | 131 |        |
| CV [%]                 | 18                      |      |          | 18                    |      |          | 54                  |     |        |

Nivel de significancia: \*\*\* ( $p < 0,001$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), \* ( $p < 0,05$ ), ns ( $p > 0,05$ ).

Tabla 6.2. Índice de germinación relativo a la luz (GRL) para cada especie y su clasificación correspondiente.

| Especie                 | GRL  | Clasificación         |
|-------------------------|------|-----------------------|
| <i>D. californica</i>   | 0,52 | Indiferente a la luz  |
| <i>L. dubia</i>         | 0,35 | Indiferente a la luz  |
| <i>N. tenuis</i>        | 0,83 | Fotoblástica positiva |
| <i>P. phillippianum</i> | 0,60 | Indiferente a la luz  |
| <i>S. cryptandrus</i>   | 0,55 | Indiferente a la luz  |
| <i>S. leucopila</i>     | 0,62 | Indiferente a la luz  |

Referencias: GRL < 0,25 fotoblástica negativa; > 0,75 fotoblástica positiva; 0,25 – 0,75 indiferente a la luz.

En el caso de la especie *D. californica*, tal como se observa en la Tabla 6.1, la germinación no fue afectada significativamente por la temperatura, pero si por la luz. Las semillas germinaron en mayor proporción en condiciones de luz (PG  $97 \pm 3,5\%$ ) que condiciones de oscuridad permanente (PG  $89 \pm 6,8\%$ ) (Fig. 6.1). A pesar de ello, el índice GRL fue de 0,52, por lo tanto según Milberg *et al.* (2000) esta especie podría considerarse indiferente a la luz (Tabla 6.2).

Debido a la interacción significativa de la luz y la temperatura encontrada durante el análisis de la varianza del PG de las especies *L. dubia*, *N. tenuis*, *P. phillippianum* y *S. cryptandrus* se decidió evaluar el PG en función de la temperatura, observando por separado los efectos de las condiciones de luz y de oscuridad permanente (Tabla 6.3).

La respuesta del PG de las semillas de *L. dubia*, con respecto a la temperatura, fue estadísticamente significativa, tanto en condiciones de luz como en oscuridad ( $p < 0,001$ ) (Tabla 6.3). En condiciones de luz y de oscuridad permanente el PG se acrecentó significativamente al aumentar la temperatura (Fig. 6.1). Aunque el PG siempre fue mayor en oscuridad que en condiciones de luz, según el índice GRL 0,35 esta especie fue clasificada como indiferente a la luz (Funes *et al.*, 2009) (Tabla 6.2).

Tabla 6.3. Resultados del ANAVA del porcentaje de germinación (PG) de tres especies en función de la temperatura (*T*) y particionado por la condición de luminosidad.

| Condición de luminosidad |                        | Luz |      |          | Oscuridad |      |          |
|--------------------------|------------------------|-----|------|----------|-----------|------|----------|
| Especie*                 | Fuente de variabilidad | gl  | CM   | F        | gl        | CM   | F        |
| <i>L. dubia</i>          | <i>T</i>               | 4   | 1872 | 19,1 *** | 4         | 1341 | 12,7 *** |
|                          | Error                  | 10  | 98   |          | 10        | 106  |          |
|                          | CV [%]                 |     | 36   |          |           | 24   |          |
| <i>N. tenuis</i>         | <i>T</i>               | 4   | 1272 | 9,7 **   | 4         | 94   | 12,8 *** |
|                          | Error                  | 10  | 131  |          | 10        | 7    |          |
|                          | CV [%]                 |     | 39   |          |           | 46   |          |
| <i>P. phillippianum</i>  | <i>T</i>               | 4   | 107  | 0,78 ns  | 4         | 941  | 12,5 *** |
|                          | Error                  | 10  | 138  |          | 10        | 75   |          |
|                          | CV [%]                 |     | 17   |          |           | 19   |          |
| <i>S. cryptandrus</i>    | <i>T</i>               | 4   | 2207 | 45,0 *** | 4         | 2355 | 23,1 *** |
|                          | Error                  | 10  | 49   |          | 9         | 102  |          |
|                          | CV [%]                 |     | 14   |          |           | 22   |          |

\*Especies cuya interacción temperatura\*luz fue significativa durante el ANAVA del PG.

La respuesta a la temperatura del PG de los cariopses de *N. tenuis* fue significativamente diferente en presencia de luz y como en oscuridad permanente, tal como lo muestran las regresiones cuadráticas en la Fig. 6.1. *N. tenuis* obtuvo mayores PG en condiciones de luz que en oscuridad permanente para todas las temperaturas ensayadas (Tabla 6.3). El índice GRL (0,85) indicaría que las semillas de *N. tenuis* pueden considerarse como fotoblásticas positivas (Milberg *et al.*, 2000) (Tabla 6.2).

En presencia de luz, *P. phillippianum* germinó de manera similar bajo todas las temperaturas ensayadas, logrando un promedio de  $70 \pm 11,3\%$  ( $p$  0,565) (Tabla 6.3). Además, esta especie fue clasificada como indiferente a la luz según su índice GRL 0,60 (Tabla 6.2) (Funes *et al.*, 2009). En cambio, cuando las semillas germinaron en oscuridad, se observó una respuesta lineal y significativa ( $p < 0,001$ ), mientras mayor fue la temperatura mayor fue el PG (Fig. 6.1).

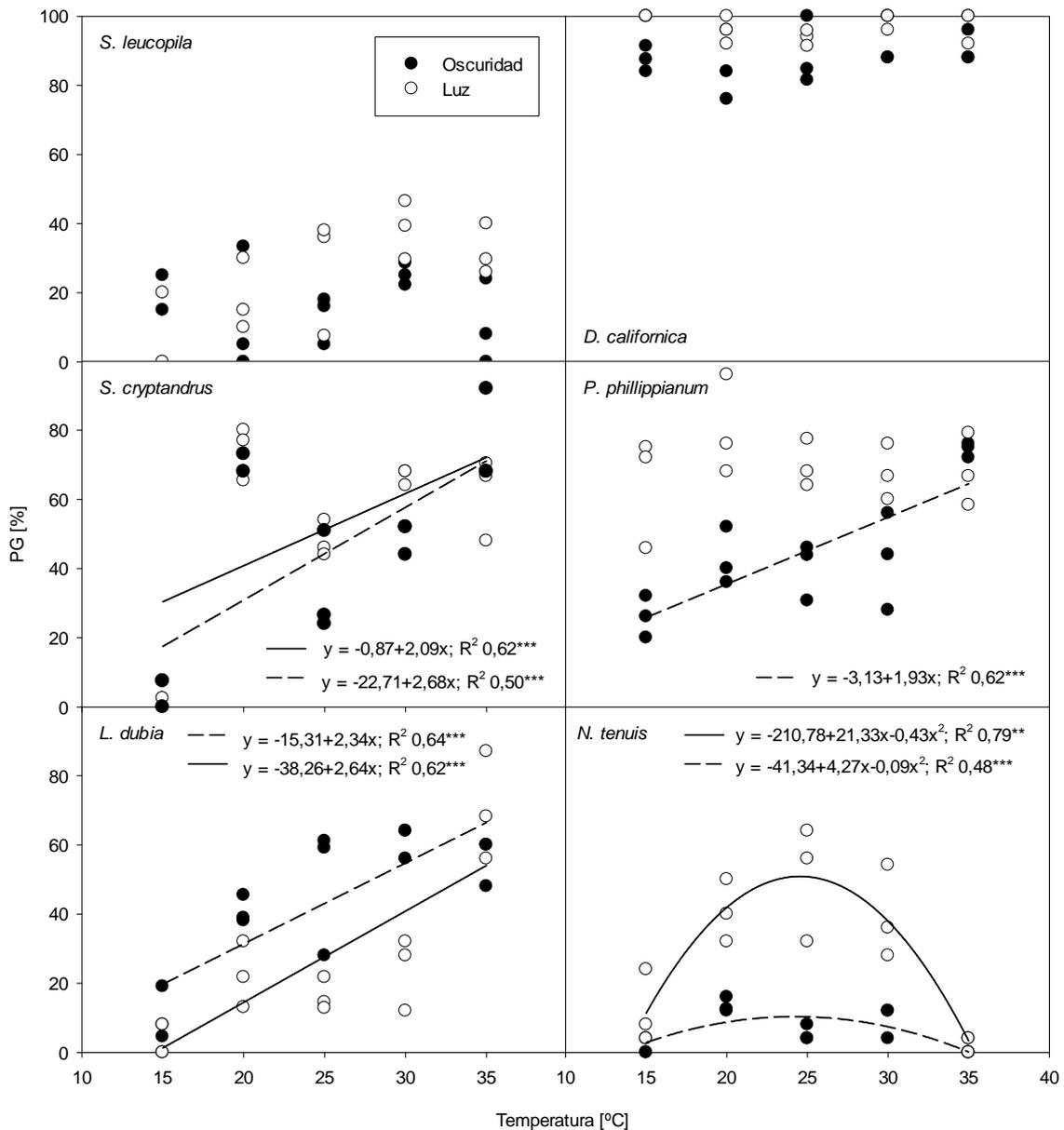


Fig. 6.1. Respuesta del porcentaje de germinación (PG) a la temperatura en condiciones de luz (blanco) y oscuridad permanente (negro) para cada especie; y regresiones lineares y cuadráticas significativas.

El PG de las semillas de *S. cryptandrus* no fue afectado significativamente por las condiciones de luz (Tabla 6.1) y la especie fue clasificada como indiferente a la luz según su índice GRL 0,55 (Funes *et al.*, 2009) (Tabla 6.2). Estas semillas fueron escarificadas previamente a los ensayos de germinación, de lo contrario el PG habría sido muy bajo (< 10%) (Sartor y Marone, 2010). Se registró un efecto significativo de la temperatura sobre el PG en cada condición de luz (Tabla 6.3). En la Fig. 6.1 se observa un aumento lineal y significativo del PG en función de la temperatura para cada condición de luz.

Para el cálculo del TMG sólo se consideraron las semillas germinadas en condiciones de luz, ya que fue necesario disponer de los conteos parciales de semillas germinadas. La respuesta del TMG fue afectada significativamente por la temperatura TMG ( $p < 0,001$ ), por el tipo de especie o ruta fotosintética ( $p 0,013$ ) y por la interacción estadística entre ambos parámetros ( $p 0,004$ ). En la Fig. 6.2 se muestra la respuesta lineal del TMG en función de la temperatura para las especies  $C_4$  ( $p < 0,001$ ) y para la especie  $C_3$  ( $p 0,004$ ). Cuando la temperatura aumentó de 15 a 35°C el proceso de germinación se aceleró y el TMG disminuyó 6 días para las especies  $C_4$ , pero sólo 2 días para la especie  $C_3$ .

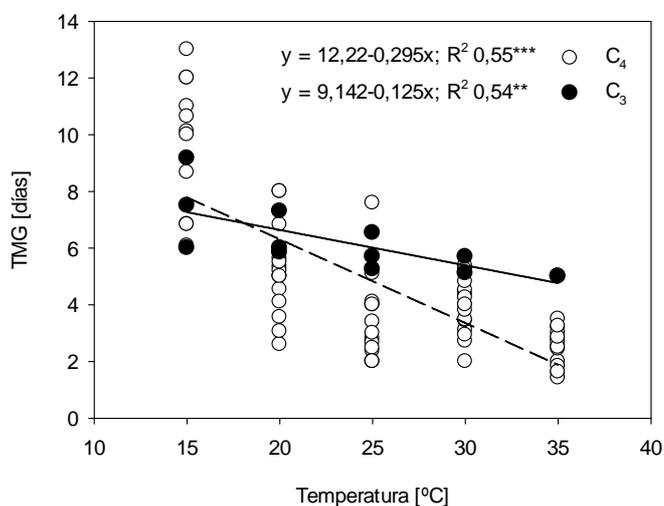


Fig. 6.2. Tiempo medio de germinación (TMG) en función de la temperatura para las especies  $C_4$  y  $C_3$ . Regresiones lineales significativas graficadas para la especie  $C_3$  (línea continua) y las especies  $C_4$  (línea punteada).

### Peso de 1000 semillas

Los propágulos de las especies *N. tenuis* y *P. phillippianum* resultaron ser los más pesados con 2,818 y 2,573 g por cada 1000 semillas, respectivamente. Aunque el peso de

las semillas de *N. tenuis* disminuiría al 60% cuando se le eliminan sus aristas (Ingels *et al.*, 1998); por lo tanto, el peso medio de cada cariopses sería 1,691 mg. Le sigue *S. leucopila* con 1,609 mg por espiguilla uniflora. Las espiguillas unifloras de *D. californica* pesaron 0,761 mg cada una. Por último, *S. cryptandrus* fue la especie con semillas más pequeñas y obtuvo cariopses más livianos (0,098 mg).

## Discusión

Con los resultados de PG podemos concluir que tanto la luz como la temperatura afectaron de manera diferencial o no afectaron la germinación de cada una de las especies evaluadas.

Las semillas de la especie *S. leucopila* germinaron con la misma intensidad bajo todas las temperaturas y condiciones de luz ensayadas. En un ensayo realizado en Arizona, USA, con semillas de *Setaria macrostachya* Kunth y *S. leucopila* lograron tasas de germinación elevadas y similares con las temperaturas de invierno, primavera y verano (Roundy y Biedenbender, 1996). Se recomienda despojar los cariopses de sus coberturas previo a la siembra para eliminar los inhibidores y obtener mayores PG (Schrauf *et al.*, 1998). Considerando que una especie comúnmente sembrada como *Trifolium fragiferum* L. posee un tamaño medio de 1,57 mg por semilla (Ingels *et al.*, 1998), *S. leucopila* sería una especie adecuada para la siembra mecánica. Pero, debido a su bajo PG, se necesitaría elevado número de semillas para lograr un buen porcentaje de cobertura vegetal.

El PG de las semillas de *D. californica* sólo fue afectado significativamente por la luz. Para la especie *D. ciliaris* se ha documentado que su PG también fue afectado positivamente por la luz, aunque a diferencia de *D. californica*, estos autores además registraron un efecto marcado de la temperatura y su rango óptimo de germinación fue de 20 a 30°C (Vivian *et al.*, 2008). Las semillas de *D. californica* germinaron significativamente más en condiciones de luz que en oscuridad permanente; entonces, con una buena distribución de semillas más o menos superficial durante la siembra mecánica se podría lograr un establecimiento exitoso de la cobertura vegetal (Ingels *et al.*, 1998). *D. californica* podría tener un buen comportamiento si se la sembrara a campo bajo las

condiciones recomendadas, aunque se debería realizar algún tratamiento de semilla previo para eliminar su abundante indumento, aumentar y uniformizar el tamaño de la semilla para así facilitar la distribución de semillas durante una siembra mecanizada (*e.g.* peletizado).

La germinación de los cariopses de *S. cryptandrus* fue notablemente influenciada por la temperatura, según los resultados obtenidos durante el presente ensayo, con 30°C se lograría el mayor PG. Respuestas similares fueron conseguidas con *S. spicatus* (El-Keblawy *et al.*, 2009) y con *S. ioclados* (Khan y Gulzar, 2003). Por ello, se recomendaría realizar la siembra de *S. cryptandrus* cuando la temperatura del suelo se encuentre cercana a los 30°C, así se obtendría el máximo PG y también se lograría un rápido establecimiento de las plántulas (MTG 3 días). Sin embargo, para lograr los resultados citados es necesario escarificar previamente las semillas, ya que la cubierta seminal impide la entrada de agua (Jackson, 1928). Sin la correspondiente escarificación se obtendrían PG muy bajos < 10% (Sartor y Marone, 2010). Debido al reducido tamaño de las semillas de *S. cryptandrus* (0,1 mg) la siembra podría no ser exitosa, tanto mecánica como manual. Ingels *et al.* (1998) citan *Poa secunda* J. Presl ssp. *secunda*, nativa de Mendoza, como la especie con semillas más pequeñas para ser utilizada como cobertura vegetal en viñedos (0,43 mg por semilla). Sin embargo, este inconveniente podría ser resuelto realizando algún tratamiento de semilla previo a la siembra, *e.g.* peletizado.

Las semillas de *P. phillippianum* germinaron con un PG > 70% en el rango de temperaturas ensayadas cuando estas se encontraban bajo condiciones de luz. En cambio, cuando las mismas germinaron en oscuridad permanente necesitaron altas temperaturas para lograr elevados PG. De manera similar, los investigadores Sartor y Marone (2010), obtuvieron un PG medio de 70% con 30°C para la especie *P. caespitosum* en oscuridad. Se recomendaría sembrar las semillas de manera superficial para lograr mayores PG. Según el tamaño de las semillas *P. phillippianum* sería una especie apta para su siembra mecánica, aunque se recomendaría realizar algún tratamiento previo de semillas para uniformizar el tamaño, la siembra y el porcentaje de cobertura vegetal del suelo.

La germinación de las semillas de la especie *L. dubia* o *Diplachne dubia* (Kunth) Scribn se vio favorecida por el aumento de la temperatura. Las especies pertenecientes al género *Diplachne* se encuentran principalmente en zonas con climas cálidos y templado-

cálidos (Correa, 1978). Si se utilizaran semillas de *L. dubia* en una cobertura vegetal, sería recomendable sembrarlas cuando la temperatura del suelo se encuentre cercana o por encima de los 30°C para lograr elevados PG. Benvenuti *et al.* (2004) encontraron resultados similares en *L. chinensis*, donde los mayores PG fueron registrados con temperaturas de 25 a 35°C bajo condiciones de luz. El peso medio de semillas de *L. dubia* es bajo cuando se lo compara con *Lolium perenne* L. que posee semillas similares en forma pero que pesan aproximadamente 1,89 mg cada una (Ingels *et al.*, 1998). Por lo tanto, para realizar siembra mecánica como con *L. perenne*, sería necesario realizar algún tipo de tratamiento de semillas para aumentar el peso de las semillas.

*N. tenuis* es una especie con un ciclo de crecimiento otoño – invierno – primaveral, por ello el aumento de la temperatura puede haber disminuido considerablemente el PG. Elevadas temperaturas (> 30°C) indicarían condiciones desfavorables para el crecimiento de esta especie (Cavagnaro, 1988). De manera similar, el rango óptimo de temperaturas registrado por Hernández (1999) para la germinación de *S. longiglumis* fue de 22 a 27°C, además el PG fue notablemente favorecido por la presencia de luz. *S. longiglumis* y *N. tenuis* pertenecen a la misma tribu taxonómica *Stipeae*. La luz favoreció notablemente la germinación de las semillas de la especie *S. longiglumis*, Hernández (1999) concluye que esta capacidad asegura que las semillas germinarán mejor cuanto más superficiales se encuentren sembradas en el suelo. Este resultado también fue comprobado durante el presente ensayo, ya que las semillas de *N. tenuis* resultaron ser fotoblásticas positivas y para todas las temperaturas ensayadas el PG obtenido fue mayor en condiciones de luz que en oscuridad permanente (Tabla 6.3). *N. tenuis* mostró un elevado peso de semillas con aristas y sin ellas, por lo tanto sería adecuada para su siembra mecánica, siempre y cuando se le realizara algún tratamiento previo para eliminar dichas aristas. El TMG y el PG de *N. tenuis* (C<sub>3</sub>) fueron ligeramente modificados por el incremento de la temperatura debido a que, a diferencia del resto de las especies, *N. tenuis* posee un ciclo de crecimiento invierno – primaveral.

Las bajas temperaturas podrían causar germinaciones más lentas. Por lo tanto, con bajas temperaturas de suelo se necesitarían períodos de tiempo más largos con agua disponible suficiente para la germinación y el establecimiento de las plantas (Roundy y Biedenbender, 1996). Sin embargo, largos períodos de tiempo con elevada humedad de

suelo son raros en los interfilares regados por goteo de viñedos de Mendoza, ya que la precipitación anual es sólo de 200 – 300 mm. Entonces, mientras más rápida sea la germinación, mayor será el éxito del establecimiento de la cobertura vegetal. Este trabajo de investigación sugiere que la temperatura del suelo debería estar por encima de 20°C durante la siembra para asegurar un rápido establecimiento, con un TMG < 5 días para las especies C<sub>4</sub> y un TMG < 6 días para la especie C<sub>3</sub>. En otra investigación realizada por Ingels *et al.* (1998), se recomienda sembrar las especies más comúnmente utilizadas como coberturas vegetales cuando el suelo se encuentra con una temperatura entre 21 y 27°C.

## Conclusiones

Las seis especies evaluadas durante este ensayo poseen potencial para ser sembradas como coberturas vegetales en viñedos bajo riego localizado. Durante el establecimiento de la cobertura vegetal a campo por siembra directa, además de los factores considerados en el presente ensayo (temperatura y luz) se deben tener en cuenta la disponibilidad de agua, el tipo de suelo y su salinidad, ya que son factores que también influyen sobre el porcentaje y velocidad de germinación a campo.

Con las pruebas de germinación realizadas se reconocieron las condiciones óptimas para su establecimiento en el campo. Para garantizar el rápido y uniforme crecimiento de las plántulas (TMG < 5 días en C<sub>4</sub> especies), la temperatura del suelo debería encontrarse por encima de los 20°C.

Para que las especies evaluadas puedan ser sembradas exitosamente de manera mecanizada, se recomienda realizar previamente algunos tratamientos de semillas. Como por ejemplo, escarificación para *S. leucopila* y *S. cryptandrus*; peletizado para *S. cryptandrus*, *D. californica* y *L. dubia*; eliminación de aristas para *P. phillippianum*, *N. tenuis*.

*D. californica* logró elevados PG en casi todas las condiciones evaluadas. De acuerdo al PG y al peso medio de semillas, esta sería una de las especies más recomendada para su uso como cobertura vegetal. Del mismo modo, *P. phillippianum* debería ser

sembrada superficialmente para obtener un elevado PG. En caso de una siembra profunda, la temperatura del suelo debería ser elevada ( $> 30^{\circ}\text{C}$ ) para lograr los mismos resultados. *L. dubia* podría lograr elevados PG si sus semillas se sembraran con elevada temperatura de suelo y más o menos profundas, de manera que se encuentren en oscuridad al momento de germinar. *L. dubia* obtuvo el PG más elevado en oscuridad con la temperatura ensayada más elevada ( $35^{\circ}\text{C}$ ). *S. cryptandrus* mostró buenos PG, pero posee cariopses muy livianos. Para asegurar una siembra mecánica uniforme y exitosa sería recomendable realizar algún tratamiento previo para aumentar el peso de semillas, como el peletizado. *N. tenuis*, la cual posee un ciclo de crecimiento invierno – primaveral, logró PG medios (50%) con temperaturas de suelo moderadas y con buena iluminación (siembra superficial). Por último, aunque las semillas de *S. leucopila* poseen un tamaño medio adecuado para la siembra mecánica, sería necesaria una elevada cantidad de semillas para lograr una cobertura vegetal elevada ( $\sim 100\%$ ) debido a su bajo PG. En base a estos resultados, *S. leucopila* sería la menos recomendable de las especies evaluadas para ser sembrada como cobertura vegetal en interfilares de viñedos bajo riego por goteo.

Se sugiere determinar la cantidad de propágulos que cada especie deja en el banco de semillas del suelo cuando crecen en condiciones naturales. De esta manera se podrá avanzar en la evaluación de la multiplicación de estas especies, comprobar si las mismas van a poder multiplicarse exitosamente cuando se encuentren creciendo como coberturas vegetales y si será o no necesario realizar resiembra de las mismas en dichas condiciones.

### CONCLUSIONES GENERALES

En los sitios de observación a campo se encontró una cobertura vegetal adaptada a sus condiciones edáficas, climáticas y de manejo de suelo. Los flujos de intercambio gaseoso fueron distintos entre las especies evaluadas y las épocas de medición, no sólo debido a la especie propiamente dicha, sino también a las características del suelo y del clima (temperatura y precipitación) propias de cada zona de estudio. Por ejemplo, en uno de los sitios donde se registró el mayor porcentaje de cobertura verde, también se registró la mayor proporción de especies exóticas, elevada precipitación anual y el mayor contenido de *MOS*. Las especies evaluadas en estos sitios de observación constituyen una alternativa para su uso como cobertura vegetal en viñedos con riego por goteo.

Se desarrolló exitosamente una cámara abierta de intercambio gaseoso. Se trata de un sistema que determina el intercambio gaseoso de una planta ubicada en su interior, incluso bajo condiciones de elevada evaporación tal como en los meses de verano en Mendoza, Argentina. Con un  $Q$  de 0,022 o 0,047 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> las condiciones microclimáticas monitoreadas dentro de la cámara no se modificaron sustancialmente, la temperatura interna aumentó 3,2°C en promedio y la disminución de la *RFA* fue del 5%. Esta cámara es un instrumento útil para medir la evapotranspiración y el intercambio de carbono por largos períodos de tiempo en plantas completas de especies herbáceas o de bajo porte. La misma se utilizó exitosamente para la determinación del balance anual de carbono y el consumo anual de agua por evapotranspiración de las plantas nativas instaladas como cobertura vegetal en un viñedo con riego por goteo.

Las curvas de respuesta de *PN* a cambios instantáneos de CO<sub>2</sub>, *RFA* y temperatura de las especies del tipo C<sub>4</sub> fueron similares entre sí y coincidieron con los resultados esperados según el tipo de metabolismo fotosintético. En general, la *PN* de las plantas C<sub>4</sub> siempre fue mayor que la *PN* de la especie C<sub>3</sub>. Para las C<sub>4</sub>, la *PN* aumentó con *Cic* y la

pendiente inicial de esta curva fue mayor, la *TH* óptima fue de 30°C, no se registró saturación aparente de *PN* con niveles de *RFA* evaluados, aunque el valor de *ISL* fue significativamente mayor que para la especie *C*<sub>3</sub>, y registraron mayor rendimiento cuántico aparente y mayores valores de *PN*<sub>max</sub>.

La disminución del *CRAS* del suelo produjo una reducción lineal de la *PN*, aunque en algunas especies se registró una menor *PN* con *CRAS* 100% que con la o las mediciones posteriores. Esto pudo deberse a un comportamiento propio de las especies o un efecto del anegamiento y falta de *O*<sub>2</sub> cuando el suelo se encontraba en *CC*.

En base a la respuesta registrada de la fotosíntesis de las plantas a cambios atmosféricos instantáneos y a la disminución del contenido hídrico en el suelo, las especies *C*<sub>4</sub> evaluadas tendrían ventajas sobre *N. tenuis* ante un futuro escenario de cambio climático con mayor temperatura ambiente y menor disponibilidad de agua. Sin embargo, el aumento de la concentración de *CO*<sub>2</sub> atmosférica beneficiaría más a la especie *C*<sub>3</sub> que a las *C*<sub>4</sub>. Además, algunos autores aseguran que las especies *C*<sub>3</sub> son más plásticas fenotípicamente, por lo que ésta no es una respuesta definitiva.

Se debería evaluar la respuesta fisiológica, morfológica y fenológica, incluyendo la plasticidad fenotípica de las plantas creciendo durante ciclos completos bajo temperaturas más elevadas y concentraciones de *CO*<sub>2</sub> más elevadas y distintos niveles de restricción hídrica.

Se desconocen otras estrategias de adaptación que las especies puedan implementar frente a los cambios climáticos previstos para la zona, tal como el aumento de temperatura y la concentración de *CO*<sub>2</sub> atmosférica. Es posible que, en un intento de superar el aumento de temperatura, las plantas *C*<sub>3</sub> de zonas frías, como por ejemplo *N. tenuis*, aumenten el piso altitudinal de su distribución; ya que esta especie sólo se encuentra a altitudes mayores de 940 m.s.n.m. en el piedemonte de la provincia de Mendoza. Este es un tema que debería ser evaluado en investigaciones futuras.

El cambio de manejo de suelo en los interfilares, de roturación periódica a labranza cero, y del sistema de riego, de superficial a riego por goteo, provocó el aumento de la *MOS* (debido al cambio manejo de suelo) y la salinidad (debido al cambio del sistema de

riego), además de la disminución del pH y el contenido de K. Sin embargo, al menos en 3 años de ensayo, los tratamientos no afectaron significativa y diferencialmente las características del suelo.

En el viñedo ubicado en el INTA, EEA Mendoza el consumo hídrico, relativo al porcentaje de cobertura, de las parcelas con cobertura vegetal espontáneas fue el mayor de todos los valores, le siguieron las parcelas con cobertura nativa y el menor consumo de agua fue para las parcelas con suelo descubierto. Este último tratamiento mostró una emisión anual de CO<sub>2</sub> prácticamente 12 veces menor que la fijación de CO<sub>2</sub> por parte de los tratamientos con cobertura vegetal.

El uso de una cobertura vegetal nativa (especies monocotiledóneas), en lugar de una cobertura espontánea compuesta por especies exóticas (mono y dicotiledóneas), aumentaría en menor medida el consumo de agua de un viñedo con riego localizado. Mediante el uso de cultivos de cobertura compuestos por *D. californica* y *S. leucopila*, se registraría un balance de carbono absoluto anual significativamente mayor que el resto de los tratamientos evaluados.

Dejar desarrollar la vegetación espontánea no siempre es ventajoso, sobre todo si el suelo ha sido manejado durante muchos años con roturaciones excesivas y aplicaciones sucesivas de herbicidas. Además del aumento del consumo de agua, las especies que se desarrollan bajo estas condiciones generalmente no son las más convenientes para el viñedo. En el tratamiento control con vegetación espontánea se encontraron malezas muy importantes, agresivas y competitivas que podrían reducir el rendimiento del cultivo de vid, como por ejemplo *Convolvulus arvensis*, *Malva parviflora*, *Wedelia glauca* y *Coniza bonariensis*.

Todas las especies nativas trasplantadas en un viñedo con riego por goteo completaron sus ciclos fenológicos. Por lo tanto, si el manejo es adecuado, se podría favorecer la diseminación de semillas y reproducirlas exitosamente. En general las especies C<sub>4</sub> evaluadas iniciarían su dispersión de frutos en diciembre y la especie C<sub>3</sub> en noviembre, aunque se deberían tener en cuenta los factores ambientales de cada año ya que pueden influir en el inicio y fin de las etapas fenológicas. El crecimiento de la cobertura vegetal

(en MS y en AM de plantas) se modificó en función de la disponibilidad hídrica aportada por las precipitaciones.

*D. californica* se encontró presente en más de una de las fincas evaluadas y registró elevados flujos de intercambio gaseoso durante su época de crecimiento. Durante 2 años desde su trasplante en un viñedo con riego por goteo, *D. californica* aumentó significativamente su PC, produjo grandes cantidades de MS y MF con elevado contenido hídrico en su masa vegetal segada. Su consumo hídrico anual relativo al PC fue intermedio, no se diferenció del resto de las coberturas nativas y fue menor que el de la cobertura espontánea. Esta especie registró la mayor AM de sus plantas, esto es una desventaja debido al aumento del riesgo de heladas tardías sobre el viñedo y el aumento de la frecuencia de segado que la cobertura necesitaría. Esta especie registró el mayor balance absoluto de CO<sub>2</sub>, aunque el valor relativo no se diferenció del resto de las coberturas (nativas y espontánea). *D. californica* podría establecerse exitosamente en el campo mediante siembra debido a que su registro de PG fue el más elevado en todas las condiciones ensayadas. Aunque se recomienda realizar algún tipo de tratamiento previo de semillas para favorecer su siembra mecánica.

*P. phillippianum* es una especie con buenas perspectivas, ya que se encontró presente en las tres fincas evaluadas con distintos climas vitícolas y registró elevada PN en sus sitios de origen. Por lo tanto se encuentra adaptada a distintas condiciones de suelo, clima y manejo. Sin embargo, su balance de carbono anual relativo al PC fue similar al resto de los tratamientos con coberturas vegetales (creciendo en un viñedo con riego por goteo). Su PG alcanzó 68% en condiciones de luz y temperatura elevada (35°C), estas son condiciones necesarias para lograr un establecimiento exitoso de la cobertura vegetal.

Aunque su PN no fue la más elevada, *S. cryptandrus* logró la mayor producción de biomasa durante 2 ciclos consecutivos creciendo en macetas sin restricción hídrica. Además, registró el menor consumo de agua con respecto al resto de las especies durante la elaboración de las curvas de respuesta de PN respecto al CRAS. Según los resultados obtenidos, esta especie se vería más beneficiada que otras frente al aumento de la temperatura ambiente. Las semillas de *S. cryptandrus* debieron ser escarificadas para obtener resultados durante los ensayos de germinación; registró PG promedio de 60% con temperaturas entre 20 – 35°C. Para asegurar una siembra mecánica uniforme y exitosa sería

recomendable realizar algún tratamiento previo para aumentar el peso de semillas y facilitar la siembra mecanizada, ya que sus cariopses son muy livianos (~0,1 mg).

*L. dubia*, creciendo en maceta sin restricción hídrica, registró mayor consumo de agua que el resto de las especies nativas evaluadas durante la obtención de las curvas de *PN* versus *CRAS*. Este hecho se vio reflejado en la deshidratación temprana de sus hojas ante la disminución del *CRAS* con respecto al resto de las especies. Con elevada temperatura (> 30°C) *L. dubia* lograría elevados PG. Se recomienda realizar algún tratamiento de semillas previo a la siembra para aumentar el peso de semillas y facilitar la siembra mecanizada.

Cuando *S. leucopila* fue establecida por trasplante en un viñedo con riego por goteo, su *IC* fue mayor durante las épocas de verano y primavera que en otoño e invierno. Su balance de carbono anual relativo al PC fue similar al resto de las coberturas, aunque su valor fue uno de los más elevados. En este viñedo, *S. leucopila* aumentó significativamente menos su PC que el resto de los tratamientos al igual que el tratamiento control. Junto con *D. californica*, produjo elevadas cantidades de MF, MS y contenido hídrico de su masa vegetal segada. Las semillas de *S. leucopila* fueron escarificadas, pero a pesar de ello mostraron un bajo PG promedio (21%). Sería necesario realizar otros tratamientos de semilla (e.g. escarificación química) para comprobar si su PG aumenta, de lo contrario no sería rentable sembrarla.

*N. tenuis* es una especie C<sub>3</sub> con crecimiento otoño – invierno – primaveral. Por lo tanto, podría ser adecuada para su uso en zonas altas con climas más frescos y también para utilizarla combinada con otras especies estivales, ya que su ciclo de crecimiento en contra-estación permitiría mantener el suelo con cobertura vegetal durante todo el año. Creciendo de manera espontánea en una de las fincas, registró baja *PN* durante el verano comparada con las restantes especies evaluadas (C<sub>4</sub> con crecimiento estival). Sin embargo, durante el otoño y la primavera *N. tenuis* tendría ventajas frente a las restantes especies, ya que registra elevados valores de *PN* y *EUA*. Junto con *D. californica*, esta especie aumentó en mayor medida su PC comparado con otras especies nativas trasplantadas en un viñedo con riego por goteo. La AM de sus plantas fue baja (< 50 cm) y, a diferencia *D. californica*, no entorpecería el manejo normal de un viñedo. Creciendo como cobertura vegetal, produjo cantidades medias de MF y MS, con bajos contenidos de agua en la masa vegetal

segada y registró la mayor *E* durante el otoño. Su balance anual de CO<sub>2</sub> relativo al PC fue similar al resto de las coberturas y su consumo hídrico anual relativo fue menor que el tratamiento control, mayor que el suelo descubierto y similar al resto de las especies nativas. Las semillas podrían lograr PG medios con temperaturas medias de suelo (25°C) y en condiciones de luz. Esta especie posee cariopses más o menos pesados que podrían ser utilizados en siembra mecánica, aunque se deberían eliminar previamente las aristas para facilitar la siembra.

Se recomienda la utilización de las especies nativas C<sub>3</sub> o C<sub>4</sub> como cobertura vegetal, que se encuentran presentes en el viñedo o en los alrededores, para no forzar la introducción de especies que no se desarrollan en ese ambiente. Por ejemplo, no es común la presencia de *N. tenuis* en llanuras de baja altitud, por lo que se podría cometer gran error forzar su introducción en dichas áreas.

En base a los resultados obtenidos, todas las especies evaluadas poseen potencial para ser utilizadas como coberturas vegetales en cultivos bajo riego localizado. De ellas, *D. californica* presentaría ciertas ventajas sobre el resto de las especies (*e.g.* elevada MS, MF, PC, PG, balance de carbono), pero la elevada AM de sus plantas podría constituir una desventaja en su manejo. *N. tenuis* también podría ser utilizada como cobertura vegetal, sobre todo en climas más fríos (de altura) y si se la sembrara combinada con otra especie, ya que la misma posee un ciclo de crecimiento diferente al resto y esto permitiría mantener una cobertura vegetal verde durante todo el año. *P. philippianum* se encontró presente en las tres fincas evaluadas con diferentes climas vitícolas, la misma podría adaptarse a diferentes condiciones. *S. cryptandrus* posee semillas muy pequeñas y es necesario escarificarlas, salvando estos inconvenientes, esta especie produce elevada cantidad de MS y consumió menos cantidad de agua que el resto de las especies. *L. dubia*, creciendo en maceta, registró un gran consumo de agua y la deficiencia de agua se observó en la deshidratación temprana de sus hojas cuando el CRAS disminuyó. *S. leucopila* posee muy bajo PG, para poder ser utilizada como cobertura se debería resolver este inconveniente.

Se sugiere extender este tipo de estudio a otras especies nativas que también son abundantes en distintas zonas de Mendoza. De esta manera, se podría tener un conocimiento más amplio acerca del comportamiento fisiológico de la flora nativa de Mendoza y con ello, poder reconocer características adecuadas para diversos propósitos

(*e.g.* producción de biomasa, reforestación de zonas degradadas, coberturas vegetales en cultivos perennes, xerojardinería, etc.).

Por otro lado, también se recomienda realizar tratamientos de semillas (*e.g.* eliminación de aristas, peletizado, escarificado mecánico o químico, entre otros). De esta manera, se podría reconocer la técnica adecuada para que cada especie pueda ser sembrada mecánicamente a campo y así avanzar en su domesticación. Una vez sembradas, se podría evaluar si existe o no algún efecto de este tipo de cobertura vegetal sobre las plantas de vid.

Se sugiere realizar ensayos de germinación para evaluar la tolerancia de las semillas y las plántulas a la salinidad; dado que generalmente, en los interfilares de viñedos con riego por goteo, la salinidad se incrementa.

Se aconseja investigar acerca de los efectos del déficit hídrico sobre la fisiología de estas especies nativas de Mendoza (*e.g.* producción de biomasa, producción y calidad de semillas, potencial hídrico en hojas, acumulación de sustratos orgánicos, ajuste osmótico, etc.). Además, sería conveniente comparar las respuestas de plantas  $C_4$  y  $C_3$ , utilizando al menos tres especies de cada tipo para poder obtener respuestas consistentes y más fácilmente extrapolables.

Finalmente, se sugiere realizar los ensayos de curvas de respuesta al contenido hídrico del suelo con varias especies diferentes de cada tipo de metabolismo fotosintético ( $C_4$  y  $C_3$ ), realizando más de 3 repeticiones por temporada de crecimiento. La finalidad es verificar el comportamiento de las especies observado durante la obtención de las curvas de respuesta de  $PN$  a  $CRAS$  en el presente trabajo: menor  $PN$  con los mayores contenidos relativos de agua en el suelo. Tal como se indicó anteriormente, se recomienda realizar ensayos con plantas creciendo durante al menos ciclo completo bajo temperaturas más elevadas y concentraciones de  $CO_2$  más elevadas para evaluar su respuesta fisiológica, vegetativa y reproductiva (incluyendo la plasticidad fenotípica).

### BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed S., Nawata E., Hosokawa M., Domae Y. and Sakuratani T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Sci.* 163: 117-123.
- Ahmed S., Nawata E. and Sakuratani T. 2006. Changes of endogenous ABA and ACC, and their correlations to photosynthesis and water relations in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczak cv. KPS1) during waterlogging. *Environ. Exp. Bot.* 57: 278-284.
- Albrizio R. and Steduto P. 2003. Photosynthesis, respiration and conservative carbon use efficiency of four field grown crops. *Agr. Forest Meteorol.* 116: 19-36.
- Alterio G., Giorgio P. and Sorrentino G. 2006. Open-system chamber for measurements of gas exchanges at plant level. *Environ. Sci. Technol.* 40: 1950-1955.
- Angell R. and Svejcar T. 1999. A chamber design for measuring net CO<sub>2</sub> exchange on rangeland. *J. Range Manage.* 52: 27-31.
- ASABE. 2006. Soil cone penetrometer. En: ASABE Standards. Michigan, USA, pp. 902-904.
- Baker J. T., Van Pelt S., Gitz D. C., Payton P., Lascano R. J. and McMichael B. 2009. Canopy gas exchange measurements of cotton in an open system. *Agron. J.* 101: 52-59.
- Bale J. S., Masters G. J., Hodkinson I. D., Awmack C., Bezemer T. M., Brown V. K., Butterfield J., Buse A., Coulson J. C., Farrar J., Good J. E. G., Harrington R., Hartley S., Jones T. H., Lindroth R. L., Press M. C., Symrnioudis I., Watt A. D. and Whittaker J. B. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Change Biol.* 8: 1-16.
- Balogh J., Nagy Z., Fóti S., Pintér K., Czóbel S., Péli E. R., Acosta M., Marek M. V., Csintalan Z. and Tuba Z. 2007. Comparison of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes over grassland vegetations measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. *Photosynthetica* 45: 288-292.
- Barton C. V. M., Ellsworth D. S., Medlyn B. E., Duursma R. A., Tissue D. T., Adams M. A., Eamus D., Conroy J. P., McMurtrie R. E., Parsby J. and Linder S. 2010. Whole-tree chambers for elevated atmospheric CO<sub>2</sub> experimentation and tree scale flux measurements in south-eastern Australia: The hawkesbury forest experiment. *Agr. Forest Meteorol.* 150: 941-951.
- Benvenuti S., Dinelli G. and Bonetti A. 2004. Germination ecology of *Leptochloa chinensis*: a new weed in the Italian rice agro-environment. *Weed Res.* 44: 87-96.
- Berry J. and Bjorkman O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Phys.* 31: 491-543.
- Bonada M. and Sadras V. O. 2015. Review: critical appraisal of methods to investigate the effect of temperature on grapevine berry composition. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21: 1-17.

- Bremner J. and Mulvaney C. 1982. Nitrogen total. En: Methods of soil analysis. Vol 2. Chemical and microbiological properties. Page A., Miller R. and Keeney D. (eds.). American Society of Agronomy and Soil Science, Madison, Wisconsin, USA, pp. 595-624.
- Brenchley J. L. and Probert R. J. 1998. Seed germination responses to some environmental factors in the seagrass *Zostera capricorni* from eastern Australia. *Aquat. Bot.* 62: 177-188.
- Brooks T. J., Wall G. W., Pinter P. J., Kimball B. A., LaMorte R. L., Leavitt S. W., Matthias A. D., Adamsen F. J., Hunsaker D. J. and Webber A. N. 2000. Acclimation response of spring wheat in a free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) atmosphere with variable soil nitrogen regimes. 3. Canopy architecture and gas exchange. *Photosynth. Res.* 66: 97-108.
- Burkart S., Manderscheid R. and Weigel H. J. 2007. Design and performance of a portable gas exchange chamber system for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O flux measurements in crop canopies. *Environ. Exp. Bot.* 61: 25-34.
- Capitanelli R. 1967. Climatología de Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos* 54-57: 332-335.
- Catania C. D., Avagnina M. S., Uliarte E. M., del Monte R. F. and Tonietto J. 2012. Clima vitícola y tipicidad de los vinos en países iberoamericanos. En: Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas. Tonietto J., Sotés V. and Gomez-Miguel V.D. (eds.). CYTED, Madryd, España, pp. 49-95.
- Cavagnaro J. B. 1988. Distribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grasses at different altitudes in a temperate arid region of Argentina. *Oecologia* 76: 273-277.
- Cavagnaro J. B. and Dalmaso A. D. 1986. Ensayo bajo riego de pasturas nativas en áreas cultivadas. Informe interno. Mendoza. IADIZA, CONICET.
- Cavagnaro J. B., Dalmaso A. D. and Candia R. J. 1983. Distribución vertical de materia seca en gramíneas nativas del Este de Mendoza. *Deserta* 7: 271-289.
- Ceccato P., Flasse S., Tarantola S., Jacquemoud S. and Grégoire J.-M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sens. Environ.* 77: 22-33.
- Celette F., Gaudin R. and Gary C. 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *Eur. J. Agron.* 29: 153-162.
- Centinari M., Poni S., Filippetti I., Magnanini E. and 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. *Agr. Forest Meteorol.* 149: 1975-1982.
- Centinari M., Poni S., Intrigliolo D. S., Dragoni D. and Lakso A. N. 2012. Cover crop evapotranspiration in a northeastern US Concord (*Vitis labruscana*) vineyard. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18: 73-79.
- Collatz G. J., Ribas-Carbo M. and Berry J. A. 1992. Coupled photosynthesis-stomatal conductance model for leaves of C<sub>4</sub> plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 19: 519-538.
- Corelli Grappadelli L. and Magnanini E. 1993. A whole-tree system for gas-exchange studies. *HortScience* 28: 41-45.
- Correa M. N. 1978. Flora patagónica. Parte 3: Gramineae. INTA, Buenos Aires, Argentina, 563 pp.

- 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 Activo mayo 2009.
- Cucchi N. J. and Becerra V. C. 2009. Manual de tratamientos fitosanitarios para cultivos de clima templado bajo riego. Sección III: Vid. Tomo I. Mendoza, Argentina, 364 pp.
- Czóbel S., Fóti S., Balogh J., Nagy Z., Bartha S. and Tuba Z. 2005. Chamber series and space-scale analysis of CO<sub>2</sub> gas-exchange in grassland vegetation: a novel approach. *Photosynthetica* 43: 267-272.
- Chollet R. and Ogren W. L. 1975. Regulation of fotorespiration in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> species. *Bot. Rev.* 41: 137-179.
- DACC. 2014. Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas. Ministerio de Producción, Tecnología e Innovación del Gobierno de Mendoza. Publicado en internet, disponible en Activo marzo 2014.
- Dalmasso A. D. 1994. Fenología de cinco gramíneas nativas de interés forrajero. *Pappophorum caespitosum*, *Trichloris crinita*, *Setaria leucopila*, *Digitaria californica* y *Diplachne dubia*. *Muldequina* 3: 9-34.
- Dalmasso A. D., Candia R. and Ganci C. 2008. Xerojardinería con especies nativas. *Boletín de extensión científica*. Mendoza. CONICET, IADIZA (CCT Mendoza). 80 pp.
- InfoStat. 2014. Infostat/Estudiantil, versión 2.0. Grupo Infostat/FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- Díaz-Espejo A., Walcroft A. S., Fernández J. E., Hafidi B., Palomo M. J. and Girón I. F. 2006. Modeling photosynthesis in olive leaves under drought conditions. *Tree Physiol.* 26: 1445-1456.
- Dinelli G., Marotti I., Bonetti A., Catizone P., Urbano J. M. and Barnes J. 2008. Physiological and molecular bases of glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* biotypes from Spain. *Weed Res.* 48: 257-265.
- Donaldson D. R., Snyder R. L., Elmore C. and Gallagher S. 1993. Weed Control Influences Vineyard Minimum Temperatures. *Am. J. Enol. Viticult.* 44: 431-434.
- Dreyer E., Colin-Belgrand M. and Biron P. 1991. Photosynthesis and shoot water status of seedlings from different oak species submitted to waterlogging. *Ann. For. Sci.* 48: 205-214.
- Dugas W. A., Reicosky D. C. and Kiniry J. R. 1997. Chamber and micrometeorological measurements of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes for three C<sub>4</sub> grasses. *Agr. Forest Meteorol.* 83: 113-133.
- Ehleringer J. R., Cerling T. E. and Helliker B. R. 1997. C<sub>4</sub> photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. *Oecologia* 112: 285-299.
- Ehleringer J. R., Sage R. F., Flanagan L. B. and Pearcy R. W. 1991. Climate change and the evolution of C<sub>4</sub> photosynthesis. *Tree* 6: 95-99.
- El-Keblawy A., Al-Sodany Y. M. and Al-Hadad F. A. 2009. Effects on time of seed maturation on dormancy and germination requirements of *Sporobolus spicatus* (Vahl) Kunth, a native desert grass of the United Arab Emirates. *Grassl. Sci.* 55: 11-17.
- Fang C. and Moncrieff J. B. 2001. The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem.* 33: 155-165.
- FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. Land and Water Development Division, Rome, 214 pp.

- Field C. B., Jackson R. B. and Mooney H. A. 1995. Stomatal responses to increased CO<sub>2</sub>: implications from the plant to the global scale. *Plant Cell Environ.* 18: 1214-1225.
- FIVS. 2008. International wine carbon calculator protocol. Version 1.2. Paris, France, 152 pp.
- Flexas J., Bota J., Escalona J. M., Sampol B. and Medrano H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Funct. Plant Biol.* 29: 461-471.
- Flexas J., Bota J., Galmés J., Medrano H. and Ribas-Carbó M. 2006. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiol. Plantarum* 127: 343-352.
- Flexas J., Díaz-Espejo A., Berry J. A., Cifre J., Galmés J., Kaldenhoff R., Medrano H. and Ribas-Carbó M. 2007. Analysis of leakage in IRGA's leaf chambers of open gas exchange systems: quantification and its effects in photosynthesis parameterization. *J. Exp. Bot.* 58: 1533-1543.
- Frank A. B., Liebig M. A. and Hanson J. D. 2002. Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1235-1241.
- Funes G., Díaz S. and Venier P. 2009. La temperatura como principal determinante de la germinación en especies del Chaco seco de Argentina. *Ecol. Austral* 19: 129-138.
- García R. L., Norman J. M. and McDermitt D. K. 1990. Measurements of canopy gas exchange using an open chamber system. *Remote Sens. Rev.* 5: 141-162.
- Garnier B. E. and Laurent G. 1994. Leaf anatomy, specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytol.* 128: 725-736.
- Garrett K. A., Dendy S. P., Frank E. E., Rouse M. N. and Travers S. E. 2006. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 44: 489-509.
- Gibson A. C. 1998. Photosynthetic organs of desert plants. *BioScience* 48: 911-920.
- Gonzalez A., Villalobos V., Pereyra G., Rengifo E., Marín O. and Tezara W. 2009. Comparación ecofisiológica de tres especies del género *Lantana* L. (Verbenaceae). *Acta Bot. Venez.* 32: 417-432.
- Goulden M. L., Wofsy S. C., Harden J. W., Trumbore S. E., Crill P. M., Gower S. T., Fries T., Daube B. C., Fan S.-M., Sutton D. J., Bazzaz A. and Munger J. W. 1998. Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. *Science* 279: 214-217.
- Grassi C. J. 1998. Fundamentos del riego. Serie riego y drenaje. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Mérida, Venezuela, 392 pp.
- Grau A. 1995. A closed chamber technique for field measurement of gas exchange of forage canopies. *New Zeal. J. Agr. Res.* 38: 71-77.
- Greco S. A. and 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. *Rangeland J.* 27: 135-142.
- Hanson B. R., Grattan S. R. and Fulton A. 2006. Agricultural salinity and drainage. University of California, Davis, USA, 180 pp.
- Harper J. L. 1977. Population biology of plants. Academic Press, London, 892 pp.
- Heikkinen J. E. P., Elsakov V. and Martikainen P. J. 2002. Carbon dioxide and methane dynamics and annual carbon balance in tundra wetland in NE Europe, Russia. *Global Biogeochem. Cy.* 16: 1-15.
- Heise C. B. 1988. Aspects of unconscious selection and the evolution of domesticated plants. *Euphytica* 37: 77-81.

- Helms S., Mendelsohn R. and Neumann J. 1996. The impact of climate change on agriculture. *Climatic Change* 33: 1-6.
- Hernández L. F. 1999. Germinación de *Stipa longiglumis* (Phil.). Efecto del envejecimiento y ubicación de las semillas en el suelo y temperatura del sustrato. *IDESIA* 16: 45-56.
- Holland S., Heitman J. L., Howard A., Sauer T. J., Giese W., Ben-Gal A., Agam N., Kool D. and Havlin J. 2013. Micro-Bowen ratio system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. *Agr. Forest Meteorol.* 177: 93-100.
- Hudson R. A., Aleksa A., Masotta H. and Muro E. 1990. Mapa de suelos de la provincia de Mendoza, escala 1:1000000. En: Atlas de suelos de la República Argentina. Secretaría de Agricultura G.y.P.I., Centro de Investigaciones de Recursos Naturales (ed.) Buenos Aires, Argentina, pp. 75-106.
- Hulme M. and Sheard N. 1999. Escenarios de cambio climático para Argentina. Norwich, Reino Unido, 6 pp.
- Hutchinson J. J., Campbell C. A. and Desjardins R. L. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agr. Forest Meteorol.* 142: 288-302.
- Ibañez A. N. and Passera C. B. 1997. Factors affecting the germination of albaída (*Anthyllis cytisoides* L.), a forage legume of the Mediterranean coast. *J. Arid Environ.* 35: 225-231.
- Ingels C. A., Bugg R. L., McGourty G. T. and Christensen L. P. 1998. Cover cropping in vineyards. A grower's handbook. University of California, Oakland, USA, 162 pp.
- Ingels C. A. and Klonsky K. M. 1998. Historical and current uses. En: Cover cropping in vineyards. A grower's handbook. Ingels C.A., Bugg R.L., McGourty G.T. and Christensen L.P. (eds.). University of California, Oakland, USA, pp. 3-7.
- Ingels C. A., Scow K. M., Whisson D. A. and Drenovsky R. E. 2005. Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology and gopher activity. *Am. J. Enol. Viticult.* 56: 19-29.
- INV. 2011. Registro nacional de viñedos. Instituto Nacional de Vitivinicultura, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina, 108 pp.
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 114 pp.
- Jackson C. V. 1928. Seed germination in certain New Mexico range grasses. *Bot. Gaz.* 86: 270-294.
- Kanemasu E. T., Powers W. L. and Sij J. W. 1974. Field chamber measurements of CO<sub>2</sub> flux from soil surface. *Soil Sci.* 118: 233-237.
- Khan A. M. and Gulzar S. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *J. Arid Environ.* 53: 387-394.
- Kidson R. and Westoby M. 2000. Seed mass and seedling dimensions in relation to seedling establishment. *Oecologia* 125: 11-17.
- Kiniry J. R., Jones C. A., O'Toole J. C., Blanchet R., Cabelguenne M. and Spanel D. A. 1989. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crops species. *Field Crop Res.* 20: 51-64.
- Knudsen D., Peterson G. and Pratt P. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. En: Methods of soil analysis. Vol 2. Chemical and microbiological properties. Page A., Miller R. and Keeney D. (eds.). American Society of Agronomy and Soil Science, Madison, Wisconsin, USA, pp. 225-246.
- Koerber G. R., Hill P. W., Edwards-Jones G. and Jones D. L. 2010. Estimating the component of soil respiration not dependent on living plant roots: Comparison of

- the indirect y-intercept regression approach and direct bare plot approach. *Soil Biol. Biochem.* 42: 1835-1841.
- Labraga J. and Villalba R. 2009. Climate in the Monte desert: past trends, present conditions, and future projections. *J. Arid Environ.* 73: 154-163.
- Lal R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil Till. Res.* 43: 81-107.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1-22.
- Lal R. 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy* 36: S33-S39.
- Lambers H., Chapin III F. S. and Pons T. L. 2008. *Plant physiological ecology*. Springer, New York, USA, 604 pp.
- 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.
- Lawlor D. W. and Tezara W. 2009. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Ann. Bot.* 103: 561-579.
- Lee T. D., Tjoelker M. G., Ellsworth D. S. and Reich P. B. 2001. Leaf gas exchange responses of 13 prairie grassland species to elevated CO<sub>2</sub> and increased nitrogen supply. *New Phytol.* 150: 405-418.
- Lewin K. F., Hendrey G. R., Nagy J. and LaMorte R. L. 1994. Design and application of a free-air carbon dioxide enrichment facility. *Agr. Forest Meteorol.* 70: 15-29.
- Lioubimtseva E. and Adams J. M. 2004. Possible implications of increased carbon dioxide levels and climate change for desert ecosystems. *Environ. Manage.* 33: S388-S404.
- Logan S. 2009. Drought takes its toll on growers' mid-rows, survey reveals. *Aust. Vitic.* 13: 48-53.
- Lopes C., Monteiro A., Rückert F. E., Gruber B., Steinberg B. and 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: 111-117.
- Lund C. P., Riley W. J., Pierce L. L. and Field C. B. 1999. The effects of chamber pressurization on soil-surface CO<sub>2</sub> flux and the implications for NEE measurements under elevated CO<sub>2</sub>. *Glob. Change Biol.* 5: 269-281.
- Martínez E. H., Fuentes J. P. E. and Acevedo E. H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 8: 68-96.
- Medhurst J., Parsby J. A. N., Linder S., Wallin G., Ceschia E. and Slaney M. 2006. A whole-tree chamber system for examining tree-level physiological responses of field-grown trees to environmental variation and climate change. *Plant, Cell & Environment* 29: 1853-1869.
- Merta M., Sambale C., Seidler C. and Peschke G. 2001. Suitability of plant physiological methods to estimate the transpiration of agricultural crops. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 43-48.
- Milberg P., Andersson L. and Thompson K. 2000. Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. *Seed Sci. Res.* 10: 99-104.
- Miranda O. and Medina A. 2005. Adopción de riego localizado en las provincias de Mendoza y San Juan. *INTA. Ruralis* 2: 15-17.
- Monteiro A. and Lopes C. M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agr. Ecosyst. Environ.* 121: 336-342.
- Morgan J. A., LeCain D. R., Pendall E., Blumenthal D. M., Kimball B. A., Carrillo Y., Williams D. G., Heisler-White J., Dijkstra F. A. and West M. 2011. C<sub>4</sub> grasses

- prosper as carbon dioxide eliminates desiccation in warmed semi-arid grassland. *Nature* 476: 202-206.
- Müller J., Behrens T. and Diepenbrock W. 2005. Measurement and modelling of canopy gas exchange of oilseed rape. *Agr. Forest Meteorol.* 132: 181-200.
- Müller J., Eschenröder A. and Diepenbrock W. 2009. Through-flow chamber CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O canopy gas exchange system. Construction, microclimate, errors, and measurements in a barley (*Hordeum vulgare* L.) field. *Agr. Forest Meteorol.* 149: 214-229.
- Musgrave M. E. 1994. Waterlogging effects on yield and photosynthesis in eight winter wheat cultivars. *Crop Sci.* 34: 1314-1318.
- Nijensohn L. 1991. Fósforo extraíble con agua carbonicada en el diagnóstico del nivel de fertilidad fosfórica en suelos aluviales regadíos. II Jornada Nacional Fósforo del suelo, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Argentina, pp. 32-36.
- Nijensohn L. and Pilasi H. 1962. Correlación entre el contenido de agua a pF 0, volumen de sedimentación y porcentaje de arcilla. 2º Reunión Argentina y 1º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mendoza, Argentina.
- Nobel P. S. 2009. *Physiochemical and environmental plant physiology*. Elsevier, Los Angeles, California, 582 pp.
- Norman J. M., Kucharik C. J., Gower S. T., Baldocchi D. D., Crill P. M., Rayment M., Savage K. and Striegl R. G. 1997. A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes. *J. Geophys. Res.* 28: 771-777.
- Parnesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637-669.
- Parodi L. R. 1964. Regiones fitogeográficas argentinas. En: *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Acme, Buenos Aires, Argentina, pp. 1-14.
- Passera C. B., Dalmasso A. D. and Borsetto O. 1983. Método de point quadrat modificado. En: *Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas*. Subcomité asesor del árido subtropical argentino, Mendoza, Argentina, pp. 71-79.
- Penfold C., Henschke P., Vagnarelli B., Stafford J., Sells P., Christie G. and Zwiarsen T. 2005. Pursuing sustainability - The role of native ground covers. *Aust. Vitic.* 9: 46-48.
- Pérez-Priego O., Testi L., Orgaz F. and Villalobos F. J. 2010. A large closed canopy chamber for measuring CO<sub>2</sub> and water vapour exchange of whole trees. *Environ. Exp. Bot.* 68: 131-138.
- Pérez Peña J. and Tarara J. 2004. A portable whole canopy gas exchange system for several mature field-grown grapevines. *Vitis* 43: 7-14.
- Pérez Valenzuela B. R. 1999. *Edafología en la agricultura regadía cuyana*. Editorial Fundar, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, 205 pp.
- Pfister M. 2005. *Consommation hydrique de différentes 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, France, 89 pp.
- Pigliucci M. 2001. *Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture*. Johns Hopkins University Press, USA, 333 pp.
- Pocknee S. and Sumner M. E. 1997. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 86-92.

- Ponce M. T., Videla E., Fioretti S. and Galat E. 2006. Propagación de *Lecanophora heterophylla*. Especie nativa con potencial ornamental. Rev. Fac. Cienc. Agrar. Univ Nac Cuyo 38: 91-100.
- Poni S., Intrieri C. and Magnanini E. 1999. Set-up, calibration and testing of a custom-built system for measuring whole-canopy transpiration in grapevine. Acta Hort. 493: 149-159.
- Poni S., Magnanini E. and Rebucci B. 1997. An automated chamber system for measurements of whole-vine gas-exchange. HortScience 32: 64-67.
- Poorter H. and Lambers H. 1991. Is interspecific variation in relative growth rate positively correlated with biomass allocation to the leaves? Am. Nat. 138: 1264-1268.
- Poorter H. and Navas M. L. 2003. Plant growth and competition at elevated CO<sub>2</sub>: on winners, losers and functional groups. New Phytol. 157: 175-198.
- Poorter H. and Pothmann P. 1992. Growth and carbon economy of fast-growing and slow-growing grass species as dependent on ontogeny. New Phytol. 120: 159-166.
- Prichard T. L. 1998. Water use and infiltration. En: Cover cropping in vineyards. A grower's handbook. Ingels C.A., Bugg R.L., McGourty G.T. and Christensen L.P. (eds.). University of California, Oakland, USA, pp. 86-90.
- Reicosky D. C., Sharratt B. S., Ljungkull J. E. and Baker D. G. 1983. Comparison of alfalfa evapotranspiration measured by weighing lysimeter and a portable chamber. Agr. Forest Meteorol. 28: 205-211.
- Reich P. B. 1998. Variation among plant species in leaf turnover rates and associated traits: implications for growth at all life stages. En: Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences. Lambers H., Poorter H. and Van Vuren M.M. (eds.). Backhuys, Leiden, The Netherlands, pp. 476-487.
- República Argentina. 2007. 2da Comunicación Nacional de la República Argentina a la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina, 200 pp.
- Richards L. A. 1993. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México, 172 pp.
- Richardson A. D., Keenan T. F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O. and Toomey M. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. Agr. Forest Meteorol. 169: 156-173.
- Ripoche A., Celette F., Cinna J. P. and Gary C. 2010. Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards. Eur. J. Agron. 32: 30-39.
- Roach D. A. 1987. Variation in seed and seedling size in *Anthoxanthum odoratum*. Am. Midl. Nat. 117: 258-264.
- Roig F. 1969. Bosquejo fisionómico de la vegetación de la provincia de Mendoza. Bol. Soc. Argent. Bot. 13: 49-80.
- Roig F. 1976. Las comunidades del piedemonte de la precordillera de Mendoza. Ecosur 3: 1-45.
- Roig F. A. 1970. La reserva forestal de Ñacuñán. Deserta 1: 201-239.
- Romanella C. 1957. Los suelos de la región del Río Mendoza. Boletín de Estudios Geográficos 14: 1-57.
- Roundy B. A. and Biedenbender S. H. 1996. Germination of warm-season grasses under constant and dynamic temperatures. J. Range Manage. 49: 425-431.

- Ruimy A., Jarvis P. G., Baldocchi D. D. and Saugier B. 1995. CO<sub>2</sub> fluxes over plant canopies and solar radiation: a review. En: *Advances in Ecological Research*. Begon M. and Fitter A.H. (eds.). Academic Press Inc., London, pp. 1-68.
- Ruiz Leal A. 1972. Flora popular mendocina. *Deserta* 3: 1-300.
- Sabaté S., Gracia C. A. and Sánchez A. 2002. Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecol. Manag.* 162: 23-37.
- Sage R. and Kubien D. 2003. Quo Vadis C<sub>4</sub>? An ecophysiological perspective on global change and the future of C<sub>4</sub> plants. *Photosynth. Res.* 77: 209-225.
- Sage R. F. and McKown A. D. 2006. Is C<sub>4</sub> photosynthesis less phenotypically plastic than C<sub>3</sub> photosynthesis? *J. Exp. Bot.* 57: 303-317.
- Sainju U. M., Singh B. P. and 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 Till. Res.* 63: 167-179.
- Sarrantonio M. 1995. Leguminosas mejoradoras del suelo. *Metodologías de evaluación*. Instituto Rodale, Kutztown, USA, 301 pp.
- Sartor C. E. and Marone L. 2010. A plurality of causal mechanisms explains the persistence or transience of soil seed banks. *J. Arid Environ.* 74: 303-306.
- Schaal B. A. 1980. Reproductive capacity and seed size in *Lupinus texensis*. *Am. J. Bot.* 67: 703-709.
- Schrauf G. E., Martino A., Giavedoni J. and Pensiero J. F. 1998. Efectos genéticos y ambientales sobre el comportamiento germinativo de poblaciones de moha perenne. *Ecol. Austral* 8: 49-56.
- Schrier-Uijl A. P., Kroon P. S., Hensen A., Leffelaar P. A., Berendse F. and Veenendaal E. M. 2010. Comparison of chamber and eddy covariance-based CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emission estimates in a heterogeneous grass ecosystem on peat. *Agr. Forest Meteorol.* 150: 825-831.
- Schultz H. R. 2003. Extension of a Farquhar model for limitations of leaf photosynthesis induced by light environment, phenology and leaf age in grapevines (*Vitis vinifera* L. cvs. White Riesling and Zinfandel). *Funct. Plant Biol.* 30: 673-687.
- Sharkey T. D., Bernacchi C. J., Farquhar G. D. and Singsaas E. L. 2007. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C<sub>3</sub> leaves. *Plant Cell Environ.* 30: 1035-1040.
- Smethurst C. F. and Shabala S. 2003. Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Funct. Plant Biol.* 30: 335-343.
- Stannard D. I. and Weltz M. A. 2006. Partitioning evapotranspiration in sparsely vegetated rangeland using a portable chamber. *Water Resour. Res.* 42: 1-13.
- Steduto P., Çetinkökü Ö., Albrizio R. and Kanber R. 2002. Automated closed-system canopy-chamber for continuous field-crop monitoring of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes. *Agr. Forest Meteorol.* 111: 171-186.
- Stiling P. and Cornelissen T. 2007. How does elevated carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) affect plant-herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO<sub>2</sub>-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. *Glob. Change Biol.* 13: 1823-1842.
- Swanborough P. and Westoby M. 1996. Seedling relative growth rate and its components in relation to seed size: phylogenetically independent contrasts. *Funct. Ecol.* 10: 176-184.

- Taiz L. and Zeiger E. 2006. Plant Physiology, Fourth Edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA, 764 pp.
- Tambussi E. A. and Graciano C. 2010. Técnicas de medición de intercambio de gases en plantas: curvas de respuesta de la fotosíntesis a la luz y al CO<sub>2</sub>. En: Técnicas de medición en ecofisiología vegetal. Fernández M.E. and Gyenge J.E. (eds.). Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 109-118.
- Uliarte E. M. 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. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 161 pp.
- Uliarte E. M. and del Monte R. F. 2006a. Coberturas de flora establecida en viticultura regadía. Informe final de convenio de asistencia técnica: INTA EEA Mendoza - Bodegas Norton S.A. Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. INTA EEA Mendoza. 54 pp.
- Uliarte E. M. and del Monte R. F. 2006b. Especialistas evalúan el uso de coberturas vegetales en viñedos. En: Diario Los Andes, Mendoza, Argentina, Diciembre 2.
- Uliarte E. M. and del Monte R. F. 2009. Evaluación y elección de diferentes especies de coberturas vegetales en viñedos bajo riego de Mendoza. Argentina. Trece Grados 15: 18-34.
- Uliarte E. M., Parera C. A., Alessandria E. E. and Dalmaso A. D. 2014. Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua de cultivos de cobertura con especies nativas (Mendoza, Argentina), exóticas cultivadas y malezas. Agriscientia 31: 49-61.
- Uliarte E. M., Schultz H. R., Frings C., Pfister M., Parera C. A. and del Monte R. F. 2013. Seasonal dynamics of CO<sub>2</sub> balance and water consumption of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub>-type cover crops compared to bare soil in a suitability study for their use in vineyards in Germany and Argentina. Agr. Forest Meteorol. 181: 1-16.
- Vallone R. 2005. Guía para la interpretación de fertilidad de suelos en zonas áridas de regadío. Mendoza, Argentina. INTA, EEA Mendoza.
- Van Hoorn J. and Van Alphen J. 1994. Salinity control. En: Drainage principles and application. Ritzema H.P. (ed.) International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, pp. 533-600.
- Van Huyssteen L. 1983. Interpretation and use of penetrometer data to describe soil compaction in vineyards. S. Afr. J. Enol. Vitic. 4: 59-65.
- Varela S., Caballé G., Curetti M. and Portela J. 2010. Sistemas IRGA en la medición de intercambio gaseoso. En: Técnicas de medición en ecofisiología vegetal. Fernández M.E. and Gyenge J.E. (eds.). Ediciones INTA, Buenos Aires, pp. 89-108.
- Venable D. L. and Brown J. S. 1988. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. Am. Nat. 131: 360-384.
- Villagra P. E., Giordano C., Alvarez J. A., Cavagnaro J. B., Guevara A., Sartor C., Passera C. B. and Greco S. A. 2011. Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. Ecol. Austral 21: 29-42.
- Vivian R., Gomes Jr. F. G., Chamma H. M. C. P., Silva A. A., Fagan E. B. and Ruiz S. T. 2008. Efeito da luz e da temperatura na germinação de *Alternanthera tenella*, *Conyza bonariensis* e *Digitalia ciliaris*. Planta Daninha 26: 507-513.

- von Caemmerer S. 2000. Modelling C<sub>4</sub> photosynthesis. En: Biochemical models of leaf photosynthesis. Csiro Publishing, Australia, pp. 91-122.
- Vorosmarty C. J., Green P., Salisbury J. and Lammers R. B. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science* 289: 284-288.
- Walkley A. and Black I. 1934. An examination of the Degjtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T. J. C., Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O. and Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Wilson K. B., Baldocchi D. D. and Hanson P. J. 2000. Quantifying stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation resulting from leaf aging and drought in mature deciduous tree species. *Tree Physiol.* 20: 787-797.
- Xu L. and Baldocchi D. D. 2003. Seasonal trends in photosynthetic parameters and stomatal conductance of blue oak (*Quercus douglasii*) under prolonged summer drought and high temperature. *Tree Physiol.* 23: 865-877.
- Yin X. and Struik P. C. 2009. C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> photosynthesis models: An overview from the perspective of crop modelling. *NJAS-Wagen. J. Life Sci.* 57: 27-38.
- Yunusa I. A., Walker R. R. and Guy J. R. 1997. Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. *Irrigation Sci.* 18: 45-54.
- Zhang J. and Maun M. A. 1990. Seed size variation and its effects on seedling growth in *Agropyron psammophilum*. *Bot. Gaz.* 151: 106-113.
- Zhou Y. H., Yu J. Q., Huang L. F. and Nogués S. 2004. The relationship between CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic electron transport and water–water cycle in chill-exposed cucumber leaves under low light and subsequent recovery. *Plant Cell Environ.* 27: 1503-1514.
- Zufferey V., Murisier F. and Schultz H. R. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs. Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis* 39: 19-26.
- Zuloaga F. O., Morrone O. and Belgrano M. J. 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. Vol. 1. Pteridophyta, Gymnospermae y Monocotyledonae. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, 3486 pp.

## **ANEXO 1**

### **COBERTURA VEGETAL ESPONTÁNEA EN VIÑEDOS BAJO RIEGO LOCALIZADO**



Anexo 1A. Establecimiento espontáneo de herbáceas nativas en un viñedo bajo riego localizado. Finca Clement, Santa Rosa, Mendoza. Diciembre de 2010.



Anexo 1B. Establecimiento espontáneo de herbáceas nativas en un viñedo bajo riego localizado. Finca del Inca, Barrancas, Maipú, Mendoza. Diciembre de 2010.



Anexo 1C. Establecimiento espontáneo de herbáceas nativas en un viñedo bajo riego localizado. Finca Salentein, Los Árboles, Tunuyán, Mendoza. Diciembre de 2011.

## **ANEXO 2**

### **ESTABLECIMIENTO DE COBERTURAS VEGETALES EN UN VIÑEDO UBICADO EN INTA, EEA MENDOZA**



Anexo 2A. Establecimiento de las especies herbáceas nativas por trasplante. Luján de Cuyo, 20/05/2011.



Anexo 2B. Parcela del ensayo con las especies herbáceas nativas establecidas por trasplante. Luján de Cuyo, 12/01/2012.



Anexo 2C. Parcela del ensayo con las especies herbáceas nativas establecidas por trasplante. Luján de Cuyo, 16/05/2013.

### **ANEXO 3**

#### **CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO A DISTINTAS PROFUNDIDADES Y DISTANCIAS DESDE LA LÍNEA DE PLANTACIÓN EN LA PARCELA UBICADA EN INTA, EEA MENDOZA**

Anexo 3A. Tabla de análisis de la varianza del contenido de humedad de suelo en función de la profundidad muestreo y longitud desde la línea de plantas.

| <b>Fuente de<br/>variabilidad</b> | <b>gl</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b><i>p</i></b> |
|-----------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------------|
| Longitud (L)                      | 6         | 32,58     | 11,00    | <0,001          |
| Profundidad (P)                   | 2         | 60,07     | 20,28    | <0,001          |
| L * P                             | 12        | 0,80      | 0,27     | 0,992           |
| Error                             | 51        | 2,96      |          |                 |
| CV [%]                            |           | 12,86     |          |                 |

Anexo 3B. Comparación del contenido hídrico de suelo (*CHS*) para cada longitud desde la línea de goteo (0 cm) hasta el centro del interfilar (120 cm) (a) y para cada profundidad muestreo (b); valor medio  $\pm$  DE.

| <b>a. Longitud [cm]</b> | <b><i>CHS</i> [g%g]</b> |
|-------------------------|-------------------------|
| 0                       | 15,3 $\pm$ 1,2 a        |
| 30                      | 13,4 $\pm$ 2,0 b        |
| 60                      | 12,0 $\pm$ 2,1 bc       |
| 90                      | 11,2 $\pm$ 2,4 cd       |
| 120                     | 10,0 $\pm$ 2,0 d        |

| <b>b. Profundidad [cm]</b> | <b><i>CHS</i> [g%g]</b> |
|----------------------------|-------------------------|
| 0 – 10                     | 10,7 $\pm$ 2,9 c        |
| 10 – 20                    | 12,6 $\pm$ 2,0 b        |
| 20 – 30                    | 13,8 $\pm$ 2,0 a        |

Letras distintas indican diferencias significativas entre longitudes y profundidades (Test LSD,  $\alpha$  0,05).

Anexo 3C. Contenido hídrico del suelo [g%g] en base seca a distintas profundidades de suelo y distancias desde la línea de goteo.

| Profundidad [cm] | Distancia desde la línea de goteo [cm] |      |      |      |      |      |      |
|------------------|--|------|------|------|------|------|------|
|                  | 0                                      | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  |
| 0 – 10           | 14,7                                   | 11,6 | 10,3 | 9,0  | 8,1  | 8,7  | 9,0  |
| 10 – 20          | 15,1                                   | 13,7 | 12,2 | 11,6 | 10,5 | 10,8 | 11,2 |
| 20 – 30          | 16,0                                   | 14,9 | 13,4 | 13,0 | 11,5 | 11,8 | 12,3 |

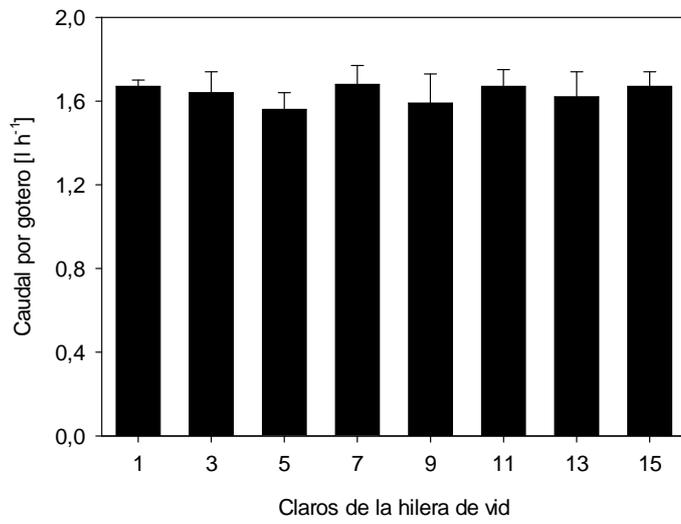
Colores diferentes corresponden a distintas clases (Análisis de conglomerados: promedio *average linkage*; distancia *Euclídea*; correlación cofenética 0,72).

## **ANEXO 4**

### **CONTROL DE CAUDAL DE AGUA EROGADO POR LOS GOTEROS A LO LARGO DE UNA LÍNEA DE RIEGO EN LA PARCELA UBICADA EN INTA, EEA MENDOZA**

Anexo 4A. Tabla de análisis de la varianza del caudal erogado por los goteros a lo largo de una línea de riego, comparación entre claros impares correspondientes a la hilera de vid.

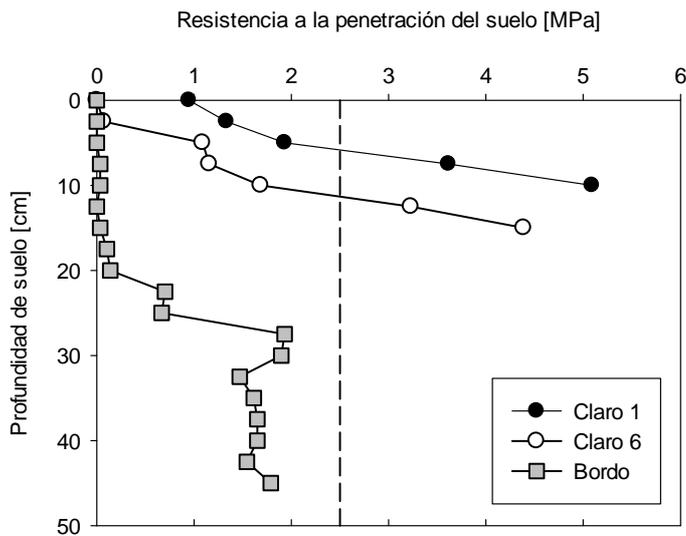
| <b>Fuente de<br/>variabilidad</b> | <b>gl</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b><i>p</i></b> |
|-----------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------------|
| Claro                             | 7         | 0,011     | 1,224    | 0,313           |
| Error                             | 39        | 0,009     |          |                 |
| CV [%]                            |           | 5,8       |          |                 |



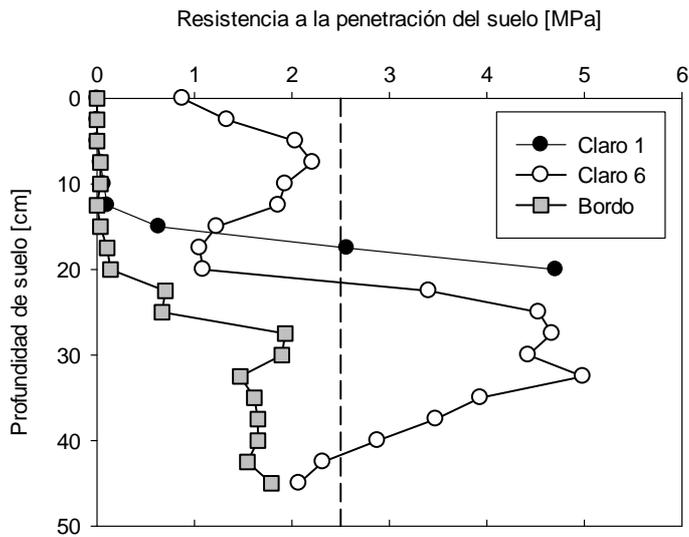
Anexo 4B. Erogación media de los goteros de un mismo claro [l h<sup>-1</sup>] a lo largo de una línea de riego (sin diferencias significativas entre claros).

## **ANEXO 5**

### **PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO (BORDO E INTERFILAR) EN LA PARCELA UBICADA EN INTA, EEA MENDOZA**



Anexo 5A. Resistencia a la penetración del suelo en función de la profundidad del suelo en el viñedo con coberturas nativas. Determinada mediante penetrómetro manual (SC 900, Spectrum Technologies Inc., Illinois, USA) en el surco o zona donde pisa la rueda del tractor (claros 1 y 6) y en la línea de plantación (bordo). Línea vertical punteada representa el límite para el normal crecimiento de las raíces de varios cultivos según Van Huyssteen (1983). Luján de Cuyo, 02/02/2012.



Anexo 5B. Resistencia a la penetración del suelo en función de la profundidad del suelo en el viñedo con coberturas nativas. Determinada mediante penetrómetro manual (SC 900, Spectrum Technologies Inc., Illinois, USA) en el centro del interfilas (claros 1 y 6) y en la línea de plantación (bordo). Línea vertical punteada representa el límite para el normal crecimiento de las raíces de varios cultivos según Van Huyssteen (1983). Luján de Cuyo, 02/02/2012.