



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MANEJOS
DE CHAPODA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA
CONDICIÓN DE LA VID CV. CHARDONNAY SOMETIDA A SEQUÍA**

**EFFECTS OF ORGANIC AMENDMENTS AND SUMMER PRUNING
MANAGEMENTS IN SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND CHARDONAY
VINEYARD CONDITION UNDER DROUGHT.**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al
Grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas

RICARDO CRISTIAN QUINTANA CARVAJAL

Directores de Tesis
NICOLÁS FRANCK BERGER (Q.E.P.D)
OSCAR SEGUEL SEGUEL
CLAUDIO PASTENES VILLARREAL

Profesores Consejeros
CRISTIAN KREMER FARIÑA
MARCOS MORA GONZÁLEZ

SANTIAGO - CHILE
2019

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MANEJOS
DE CHAPODA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA
CONDICIÓN DE LA VID CV. CHARDONNAY SOMETIDA A SEQUÍA**

**EFFECTS OF ORGANIC AMENDMENTS AND SUMMER PRUNING
MANAGEMENTS IN SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND CHARDONNAY
VINEYARD CONDITION UNDER DROUGHT.**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al
Grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas

RICARDO CRISTIAN QUINTANA CARVAJAL

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
DIRECTOR DE TESIS/AFE		
Oscar Seguel Seguel Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8	Aprobado
Claudio Pastenes Villarreal Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	7,0	Aprobado
PROFESORES CONSEJEROS		
Cristian Kremer Fariña Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	7,0	Aprobado
Marcos Mora González Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0	Aprobado

Santiago, Chile
2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi familia, Roberto, Elisa y Catalina, por su apoyo constante, son ellos los gestores de todos mis logros.

Agradecer a Oscar por su paciencia, por ser mucho más que un profesor guía y siempre tenderme una mano cuando lo necesitaba.

A Claudio por adoptarme cuando las cosas se pusieron más difíciles y siempre confiar en mí.

A Luis Villalobos por sus discusiones en el laboratorio y por su buena disposición para ayudar.

A Marco Garrido por siempre estar disponible para ayudar.

Al equipo de trabajo del Ceza, en especial a Pancho, Charlotte, Charlie y Denisse.

A Hugo Pérez por alegrar los días en el laboratorio.

A mis amigos.

A los profesores que me formaron.

A mis entrenadores, quienes siempre me permitieron seguir realizando el deporte que amo mientras estudiaba y me inculcaron la idea que para estudiar en la Universidad de Chile no se podía ser solo un buen deportista.

Al FIA, por financiar este proyecto.

A la viña Tabali por permitirme utilizar sus plantas, sabiendo que podían morir.

A las plantas de Vid que fueron estresadas por el bien de la ciencia.

A la Universidad de Chile por darme la oportunidad de ser un profesional y una persona integral.

A mis equipos.

A los miembros del CDE.

A todas las personas que de alguna u otra forma se hicieron presentes en el transcurso de este largo trabajo.

Por último, agradecer a Nicolás, por su increíble habilidad para enseñar, dejaste una huella imborrable en mi formación profesional y personal. Un abrazo al cielo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	1
Principios para enfrentar la sequía	1
Condiciones climáticas en la región de Coquimbo y sus repercusiones	1
Influencia de las enmiendas orgánicas en el suelo y la vid	3
Las propiedades físicas del suelo	3
Influencia de los manejos de poda sobre la planta	5
Variables ecofisiológicas	5
LITERATURA CITADA.....	9
CAPÍTULO II. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MANEJOS DE CHAPODA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA CONDICIÓN DE LA VID CV. CHARDONNAY SOMETIDA A SEQUÍA	14
Resumen.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN	16
HIPÓTESIS.....	18
OBJETIVOS	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
MATERIALES Y MÉTODO	19
Ubicación del estudio.....	19
Material biológico	20
Tratamientos y diseño experimental	20
Manejo del ensayo.....	21
Evaluaciones	22
Análisis de suelo	22
Variables ecofisiológicas	23
Cosecha	23
Análisis estadísticos	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
Condiciones climáticas.....	25
Radiación interceptada	25
Propiedades físicas de suelo.....	27

Variables ecofisiológicas	33
Cosecha	42
Conclusiones	44
LITERATURA CITADA.....	45
Apéndices	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Criterio de las Naciones Unidas para la clasificación de regímenes de humedad (UNEP, 1997).....	2
Cuadro 2. Niveles de déficit hídrico según potencial hídrico en vid (Van Leeuwen, 2009). 6	6
Cuadro 3. Tratamientos del ensayo.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Foto satelital de la ubicación del ensayo.	19
Figura 2. Evolución de las variables climáticas evapotranspiración de referencia (Eto) y déficit de presión de vapor (DPV) durante la temporada 2017 (arriba) y 2018 (abajo).	25
Figura 3. Fracción de radiación interceptada post chapoda y fracción podada para los diferentes tratamientos.	26
Figura 4. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la densidad aparente del suelo (A), los poros de agua útil (B) y los poros de drenaje (C), para las tres profundidades evaluadas en abril de 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma profundidad ($p<0,05$).	28
Figura 5. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la densidad aparente del suelo (A), poros de agua útil (B) y poros de drenaje (C), para las tres profundidades analizadas en noviembre de 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma profundidad ($p<0,05$).	29
Figura 6. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la porosidad total, para las tres profundidades analizadas en abril de 2018.	31
Figura 7. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la relación de dispersión (menor valor denota mayor estabilidad), para las tres profundidades analizadas en abril de 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma profundidad ($p<0,05$).	31
Figura 8. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el potencial hídrico de suelo (A) y potencial de tallo (B) después de un corte de riego durante la temporada 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p<0,05$).	33
Figura 9. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el potencial hídrico de suelo (A) y potencial de tallo (B) después de un corte de riego durante la temporada 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p<0,05$).	35
Figura 10. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la asimilación neta (A), conductancia estomática (B) y transpiración (C) después de un corte de riego durante la temporada 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p<0,05$).	37
Figura 11. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la asimilación neta (A), conductancia estomática (B) y transpiración (C) después de un corte de riego durante la temporada 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p<0,05$).	38

Figura 12. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la fluorescencia de las clorofilas durante la temporada 2017 (arriba) y 2018 (abajo).....40

Figura 13. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el rendimiento (arriba) y sólidos solubles (abajo) para la cosecha de la temporada 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).43

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Contenido de agua en el suelo para los diferentes tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas, durante las 7 fechas de medición del año 2018.....	50
Apéndice 2. Contenido de agua en el suelo para los diferentes tratamientos con aplicación de chapodas, durante las 7 fechas de medición del año 2018.	51

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

PRINCIPIOS PARA ENFRENTAR LA SEQUÍA

Condiciones climáticas en la región de Coquimbo y sus repercusiones

La influencia del ser humano en el cambio climático es innegable, ya que las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero (GEIS) son las más altas registradas en la historia reciente, lo que trae diversos cambios en los patrones climáticos actuales (IPCC, 2014). Se espera que los GEIS sigan en aumento debido al crecimiento exponencial de la población humana, la cual ha llegado a cifras cercanas a los 7.000 millones de personas en todo el mundo (UNFPA, 2016), aumentando además la demanda de materias primas y alimentos (Nicholls et al., 2015). Los efectos se han detectado a partir del siglo XX en todo el sistema climático, afectando principalmente la temperatura superficial global, la precipitación, la nubosidad y la acumulación de nieve (IPCC, 2014). Ello hace cada vez más frecuentes los eventos climáticos extremos tales como sequía, heladas y olas tanto de calor como de frío (Santibáñez et al., 2014).

Las precipitaciones han presentado una desviación en su comportamiento normal, afectando seriamente la producción agrícola, particularmente en zonas de climas áridos y semi áridos, como la Región de Coquimbo, donde se han intensificado los eventos de sequía (Milovic et al., 2013). De hecho, esta Región presenta una disminución de un 30% en las precipitaciones en el transcurso de un siglo, con montos que en la actualidad llegan a 138,2 mm año⁻¹ y una evapotranspiración potencial de 1.464 mm año⁻¹, presentando un déficit hídrico anual cercano a los 1.100 mm año⁻¹ (Santibáñez et al., 2014).

Según un indicador utilizado por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas, el cual clasifica zonas climáticas según el cociente de la precipitación media anual y la evapotranspiración potencial anual, la Región de Coquimbo fue catalogada como una zona árida (Cuadro 1) (UNEP, 1997). Este tipo de zonas climáticas se caracterizan por presentar un periodo seco de 9 a 11 meses, altas demandas atmosféricas y un déficit hídrico por sobre los 1.000 mm año⁻¹, con precipitaciones que no alcanzan a cubrir el 20% de las demandas atmosféricas (Santibáñez et al., 2014).

El extremo periodo seco en la Región impide el desarrollo normal de cualquier cultivo, existiendo una fuerte dependencia de la disponibilidad de agua para riego proveniente de fuentes nivales de la Cordillera de los Andes (Rivera et al., 2000), que al derretirse alimentan un sistema de embalses que aumenta la seguridad de riego (González, 2016); sin embargo, algunas sequías recientes han generado el agotamiento del agua embalsada (CAZALAC, 2015). Por otra parte, los suelos poco evolucionados o con arcillas densas en profundidad y bajo nivel de materia orgánica, presentan condiciones físicas desfavorables para el enraizamiento y generan una gran escorrentía superficial (Casanova et al., 2012).

Cuadro 1. Criterio de las Naciones Unidas para la clasificación de regímenes de humedad (UNEP, 1997).

PP (mm)/ETP (mm d ⁻¹)	Régimen
<0,05	Híper-árido
0,05-0,20	Árido
0,20-0,50	Semi-árido
0,50-0,65	Sub-húmedo seco
0,65-1	Sub-húmedo húmedo
>1	Húmedo

El frecuente fenómeno de sequía por el que ha pasado la Región de Coquimbo trae diversas consecuencias para la producción agrícola debido a que las plantas, frente a una menor disponibilidad de agua, reducen su crecimiento por dos vías. La primera es la reducción de la fotosíntesis, por la combinación de señales químicas e hidráulicas. El primer caso se refiere al ácido abscísico, el cual induce un cierre estomático (Vallabhaneni y Wurtzel, 2010). Además, la restricción hídrica puede significar una reducción del turgor necesario para la división celular, reduciendo el crecimiento (Deng et al., 2009). Limitaciones en la transpiración, ya sea reduciendo la conductancia estomática (Gs) (por cierre parcial de estomas) y/o disminuyendo el área foliar (superficie por la que transpira), trae significativas mermas en la producción, que en casos extremos puede llegar a la muerte y/o abandono de huertos (Franck y Muñoz-Aravena, 2014; Efeoglu y Ekmekçi, 2009).

En particular, la Región destaca por la producción de frutales como la vid, el palto y el olivo, con superficies plantadas de 8.700, 5.000 y 3.700 ha, respectivamente (ODEPA, 2015a). Como respuesta a la última sequía, se adoptaron diversas medidas, como son la poda a tocón o simplemente el arranque de huertos, llegando a perder 2.085 ha destinadas a frutales entre 2011 y 2015 (ODEPA, 2015b). Es por esto que la resistencia a la sequía es una característica que adquiere gran relevancia (Franck y Muñoz-Aravena, 2014), siendo esta definida como la capacidad inherente que tiene la planta de soportar una perturbación (Griffiths et al., 2001), en este caso la falta de agua.

Por lo antes expuesto, se hace indispensable contar con nuevas tecnologías y métodos integrales que permitan el aprovechamiento hídrico, aumentando la utilidad del agua que ingresa al sistema productivo (Hueso et al., 2011). Para implementar prácticas agronómicas ligadas al suelo y a la planta, que minimicen los efectos de la sequía, existen tres ejes fundamentales a considerar y que permiten aumentar la productividad del agua en zonas áridas: incrementar los rendimientos, reducir las pérdidas de agua e incrementar el aprovechamiento del agua (FAO, 2003).

Diferentes prácticas agronómicas ligadas al suelo y a la planta han mostrado ser útiles para reducir las pérdidas de agua de los cultivos. Por un lado, se puede aumentar la oferta de agua por parte del suelo, a través de la aplicación de enmiendas orgánicas, mejorando la capacidad de retención de agua, tal como lo han demostrado autores como Annabi et al. (2007), Weber et al. (2007), y Seguel et al. (2013). Por otro lado, si se disminuye la superficie transpirante de la planta por medio de manejos de poda, se reduce la demanda de agua transpirada por

esta (Aravena, 2014; Rivera, 2015), aumentando así las probabilidades de sobrevivencia de los sistemas frutales ante un escenario de escasez hídrica (Guo et al., 2006).

Esto toma aún más relevancia en la Región de Coquimbo, ya que ella presenta una alta potencialidad para la producción de vinos blancos, como la variedad Chardonnay, que tienen como principal parámetro de calidad su acidez natural, necesitando condiciones climáticas diferentes a las cepas tintas clásicas. La Región, gracias a su influencia costera, ve potenciada esta característica, ya que presenta temperaturas inferiores a las de la zona central, evitando la respiración excesiva de ácidos orgánicos por altas temperaturas (Jackson y Lombard, 1993).

Influencia de las enmiendas orgánicas en el suelo y la vid

Las propiedades físicas del suelo

El suelo es un medio poroso, el cual presenta tres fases: sólida, líquida y gaseosa, considerándose como un sistema trifásico, en el cual se producen procesos de transporte y almacenamientos de fluidos, como son el agua y el aire. La capacidad de un suelo de transportar fluidos depende de la proporción, funcionalidad y estabilidad de los poros que éste posea, para lo cual una adecuada proporción de todos los tamaños es primordial (INIA-ODEPA, 2000). En este sentido, la materia orgánica (MO) resulta crucial para generar agregados estables con una porosidad gruesa funcional (Abiven et al., 2009), de ahí la importancia en el uso de enmiendas orgánicas.

La densidad aparente es una propiedad muy usada para detectar cambios en la matriz porosa del suelo, ya que es la más susceptible a cambios por manejos antropogénicos (Zeng et al., 2013). En diversas investigaciones se ha visto el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, disminuyendo la densidad aparente y aumentando su porosidad (Seguel et al., 2003; Annabi et al., 2007; Seguel y Parra, 2017).

En términos de la distribución del tamaño de poros del suelo, los considerados gruesos ($> 10 \mu\text{m}$) aseguran el drenaje del exceso de agua y la renovación del aire en el sistema de raíces (Hillel et al., 1998). Un valor referencial de macroporos (PD) para el óptimo desarrollo de los cultivos es de 12% (INIA-ODEPA, 2000). En el caso de los frutales, este valor puede bajar hasta un 8% si se tiene una buena continuidad de estos, permitiendo un adecuado intercambio de gases hacia el sistema radical (Horn y Fleige, 2009). Están además los poros de agua útil (PAU), cuya función principal es almacenar agua y dejarla fácilmente disponible para las plantas (Warrick, 2002). Como valores estándares se considera la retención de agua a -33 kPa (capacidad de campo) y -1500 kPa (punto de marchitez permanente), para estimar el agua aprovechable del suelo (AA) o capacidad de almacenamiento de agua (Tejada et al., 2007).

En el contexto de cambio climático del norte de Chile, con montos de precipitación con tendencia a la baja y altas demandas atmosféricas, resulta fundamental maximizar la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, para lo cual las enmiendas orgánicas

constituyen una solución concreta (Seguel y Parra, 2017). El efecto no sólo dependerá de la cantidad de lluvia que logre infiltrar en el periodo de invierno, sino también del total que es capaz de retener el suelo. Esto resulta crítico en regiones áridas o semiáridas, donde las precipitaciones se localizan en un corto periodo de tiempo y existe una alta degradación y erosión de los suelos agrícolas, debido a la pérdida de materia orgánica (Seguel et al. 2013; Jordán et al., 2010), provocando procesos de deterioro estructural de los suelos que disminuyen el almacenamiento de agua aprovechable para la planta (Regelink et al., 2015).

La FAO (2005) propone la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo como estrategia para mejorar las condiciones hídricas y de aireación del sistema radical de los cultivos, ya que estas modifican el volumen de poros, por un reordenamiento de las partículas (Seguel et al., 2003). Como resultado, se genera una mayor infiltración gracias a un aumento de la macroporosidad del suelo y se promueve una mayor disponibilidad de agua, por una mayor capacidad de almacenamiento de esta (Seguel et al., 2003). De esta forma, las enmiendas logran convertir los microporos en poros de agua útil, incrementando la capacidad de estanque del suelo (Seguel y Parra, 2017); además incrementan la actividad biológica, generando uniones órgano-minerales que aumentan la estabilidad de los agregados del suelo, favoreciendo el almacenamiento de agua (Puget et al., 1999) y manteniendo la funcionalidad física en el tiempo (Seguel et al., 2013).

Se ha visto que la adición de enmiendas orgánicas al suelo promueve el crecimiento y aumenta los rendimientos de los frutales como la vid (Lobato y Valenzuela, 2000; Asgharipour y Rafiei, 2011). Esto se debe, como ya se señaló, a que al aplicar una enmienda orgánica se mejoran las propiedades físicas del suelo, aumentando la macroporosidad y los poros de agua útil. La aplicación de enmiendas también favorece la disponibilidad de macro y micronutrientes esenciales para las plantas, la diversidad y actividad de macro y microorganismos del suelo (Kütük et al., 2003; Pascual et al., 2007), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la capacidad de secuestrar contaminantes (Hueso et al., 2012), la actividad hormonal de la planta (Weber et al., 2007) y la resistencia de las plantas al déficit hídrico (León-González et al., 2000). Sin embargo, un contenido excesivo de materia orgánica (MO) podría afectar la calidad de la baya para la producción de vino (Oliver et al., 2013), por lo que es necesario profundizar el conocimiento respecto a rendimiento y calidad de estas, sobre todo cuando se aplican en condiciones de sequía. La vid se considera como una especie adaptada al déficit hídrico, ya que normalmente en condiciones de clima mediterráneo, el manejo se caracteriza por fuertes restricciones de riego con el propósito de restringir el crecimiento vegetativo y el diámetro de bayas, mejorando la calidad del vino (Gómez del Campo et al., 2002; Escalona et al., 2003).

Influencia de los manejos de poda sobre la planta

Variables ecofisiológicas

La aclimatación de las plantas al estrés hídrico incluye una serie de mecanismos que le permiten controlar el agua que entrega desde la canopia hacia la atmósfera. Entre estos mecanismos está el control estomático, el cual es una respuesta efectiva frente a la reducción del agua disponible (Lovisolo et al., 2002; Chaves et al., 2003; Domec y Johnson, 2012), ya que protege a la planta de una excesiva pérdida de agua (Chaves et al., 2010). Sin embargo, existen dos mecanismos de comportamiento estomático, lo que define a nivel de vid variedades cercanas un comportamiento isohídrico y cercanas a un comportamiento anisohídrico (Turner et al., 1984; Franks et al., 2007). La isohidricidad es un carácter continuo, en el que las plantas isohídricas son aquellas que cierran sus estomas cuando detectan una disminución del potencial hídrico del suelo o aumenta la demanda atmosférica, manteniendo el potencial hídrico de hoja dentro de rangos constantes. Por el contrario, las plantas anisohídricas continúan transpirando a una tasa relativamente constante, incluso cuando el contenido de agua en el suelo disminuye (Tardieu y Simonneau, 1998; Sade et al., 2012) por lo que reducen su potencial hídrico de hoja más fuertemente.

En general la vid se considera una especie que evita el estrés hídrico con un control estomático estricto o isohídrico (Schultz, 2003). Estas plantas tienen algunas ventajas al enfrentar un déficit hídrico, ya que aumenta la eficiencia en el uso del agua (EUA), tienen una mayor sensibilidad estomática y una menor vulnerabilidad a la cavitación (Schultz, 2003; Vandeleur et al., 2009). Eso sí, aún existe una gran controversia en relación a la resistencia al estrés hídrico asociado al carácter -iso o anisohídrico. Para el caso particular de la variedad Chardonnay, en algunos casos ha sido indicada como una variedad isohídrica (Hugalde y Vila, 2014), y en otras ha sido clasificada como una planta anisohídrica (Vandeleur et al., 2009; Chaves et al., 2010). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de avanzar en estudios de esta variedad para entender su respuesta estomática frente a un déficit hídrico, comparando el estado hídrico de la planta en relación con el clima y el suelo (Van Leeuwen et al., 2004).

Potencial hídrico. El movimiento de agua desde las raíces a la atmósfera, a través del continuo suelo-planta-atmósfera, se realiza por un diferencial de potenciales hídricos (Taiz y Zeiger, 2006). Cuando la evaluación de esta propiedad se realiza antes del amanecer y directamente sobre las hojas, se denomina potencial de pre alba, en cuyo caso el microclima de la hoja es homogéneo entre todas, ya que no existe transpiración, y en el que todas las hojas tienen un potencial hídrico en equilibrio con el potencial hídrico del suelo (Taiz y Zeiger, 2006).

Para monitorear el estado hídrico de la planta durante el día se utiliza el potencial de brotes (Choné et al., 2001), en cuyo caso se debe cubrir una hoja de la planta, con plástico aluminizado, una hora antes de la medición para evitar la variabilidad natural impuesta por el microclima de la hoja (Choné et al., 2001). Al no existir corriente transpirativa, los potenciales de hoja se tienden a igualar con los del tallo (Van Leeuwen et al., 2009). Los

valores de potencial hídrico en pre alba y de brote representan el nivel de estrés que presenta una planta, cuyos valores típicos de estrés en vid se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Niveles de déficit hídrico según potencial hídrico en vid (Van Leeuwen, 2009).

	Potencial hídrico de:	
	hoja pre alba	brote medio día solar
Déficit hídrico	----- (MPa) -----	
Nulo	>-0,2	>-0,6
Leve	-0,2 a -0,3	-0,6 a -0,9
Leve a moderado	-0,3 a -0,5	-0,9 a -1,1
Moderado a severo	-0,5 a -0,8	-1,1 a -1,4
Severo	<-0,8	<-1,4

En un estudio realizado en olivo por Aravena (2014), en cuyo caso los valores para definir un déficit hídrico están cercanos a los -2,5 MPa, se pudo ver que la aplicación de enmiendas orgánicas y/o manejos de poda en las plantas presentaron valores de potencial hídrico de brote menos negativos, lo que indica menores niveles de estrés. Resultados similares obtuvo Rivera (2015) en vid pisquera, registrando valores de hasta -1,1 MPa en vides sometidas a sequía.

Transpiración, fotosíntesis neta, conductancia estomática. La transpiración es el proceso por el cual el agua escapa hacia la atmósfera a través de los estomas (Coombe y Mc Carthy, 2000; Gucci y Cantini, 2000), por lo que, al podar, se disminuye el índice de área foliar (IAF) y con esto la interceptación de radiación y la transpiración (Aravena, 2014).

La fotosíntesis es un proceso que ocurre a expensas de la transpiración, es por esto la importancia de mantener los estomas abiertos, asegurando una buena conductancia estomática (Gs), ya que además de transpirar, la planta asimila CO₂ a través de estos (Taiz y Zeiger, 2006). Aunque el cierre estomático supone una gran ventaja a la hora de evitar pérdidas de agua, tiene como contrapartida la disminución en la captación de CO₂ y el aumento de temperatura de la hoja (Xu y Zhou, 2008).

Al aplicar una poda se disminuye su área fotosintética, lo que reduce la capacidad de asimilar carbono (Gucci y Cantini, 2000), pero en el contexto de un déficit hídrico, donde la planta disminuye su asimilación neta (An) por el cierre de estomas (Chaves et al., 2003), un manejo de poda viene a disminuir la demanda hídrica, logrando que la conductancia estomática de la planta sea mayor en el follaje remanente (Rivera, 2015). Sin embargo, el resultado en la producción y calidad de la baya dependerá de la intensidad y momento de la poda o defoliación (Caccavello et al., 2017), resultando importante el estudio de este manejo bajo condiciones de sequía severa.

En condiciones de estrés hídrico leve, la fotosíntesis disminuye casi exclusivamente por cierre estomático, permitiendo mantener parcialmente la asimilación neta (An), lo que conlleva un aumento en la eficiencia de uso de agua (An/Gs). Sin embargo, en situaciones

de mayor estrés hídrico se ha descrito inhibición no estomática de la fotosíntesis (Chaves, 1991; Cornic, 2000; Flexas et al., 2004)

Flexas et al. (2002) mostraron que la sequía induce cambios en muchos parámetros fotosintéticos, los cuales están fuertemente relacionados con la conductancia estomática más que otros parámetros comúnmente usados, como el potencial hídrico de hoja y el contenido relativo de agua. Usando la conductancia estomática (G_s) como un parámetro para medir el nivel de estrés hídrico, se pueden diferenciar tres fases en el gradiente de déficit, lo que podría cambiar según el cultivar de vid (Flexas et al., 2002; Medrano et al., 2002):

- (1) Estrés hídrico suave: se define como estrés hídrico para un rango de 0,7 a 0,15 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de conductancia estomática. Caracterizada por una pequeña disminución de la asimilación neta, con un progresivo aumento de la eficiencia del uso del agua intrínseca (EUAI), disminuyendo la concentración de CO_2 en la cavidad subestomática. En esta fase el cierre estomático es probablemente la única limitación de la fotosíntesis.
- (2) Estrés hídrico moderado: un estrés hídrico moderado es caracterizado por valores de conductancia estomática entre 0,15 a 0,05 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Durante esta fase, se produce una reducción de la asimilación neta con un aumento en la EUAI , aunque en algunos casos podría disminuir. El carbono interno continúa disminuyendo, pero la tasa de transporte de electrones y la eficiencia de carboxilación decrece durante esta fase. Esta disminución es dominada por una disminución de la conductancia del mesófilo en esta etapa, ya que la actividad de las enzimas fotosintetizadoras como la rubisco no se ven afectadas (Bota et al., 2004; Maroco et al., 2002). Por lo tanto, en esta fase, las limitaciones estomáticas parecen dominantes y la fotosíntesis se revierte rápidamente al volver a regar (Flexas et al., 1999), pero las limitaciones no estomáticas ya se están desarrollando (Naor y Wample, 1994; Maroco et al., 2002).
- (3) Estrés hídrico severo: esta fase de estrés hídrico toma lugar cuando la conductancia estomática es muy baja, es decir $<0,05 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se producen reducciones pronunciadas de la asimilación neta y la EUAI , además se reduce la eficiencia del fotosistema II, especialmente en días muy calurosos. Durante esta fase, AN/g_s disminuye (Düring, 1987) y las limitaciones no estomáticas de la fotosíntesis empiezan a predominar. En esta fase la fotosíntesis no se recupera luego de un riego (Düring, 1988; Quick et al., 1992), indicando que la inhibición no estomática es dominante. Es probable que las disminuciones en asimilación neta (A_n), durante esta fase se deban a una actividad de la rubisco deteriorada (Bota et al., 2002; Flexas et al., 2002; Maroco et al., 2002). En general, en esta fase disminuye la actividad y cantidad de las enzimas fotosintéticas (Maroco et al., 2002; Flexas et al., 2004).

Fluorescencia de las clorofilas. La energía lumínica dentro de la planta tiene tres posibles rutas. La primera es ser transferida como energía de excitación y atrapada por los centros de reacción, en donde es utilizada para hacer trabajo químicamente útil; la segunda es ser disipada principalmente como calor y, por último, puede ser reemitida al ambiente como energía luminosa de menor energía (fluorescencia) (González et al., 2008; Fernández y Gyenge, 2010). Esta distribución de la energía ocurre simultáneamente, pero en diferentes proporciones, por lo que el aumento de uno de ellos resultará en la disminución de alguno

de los otros dos. Por lo tanto, a través de la medición del rendimiento de la fluorescencia de la clorofila, se puede obtener información de la eficiencia fotoquímica y la disipación térmica de la energía absorbida, la cual varía según la condición de estrés de la planta (Guo et al., 2006).

Diversos factores físicos o químicos de estrés ambiental, como temperaturas altas, heladas, sequía, cambios en la intensidad luminosa, salinidad, deficiencias nutricionales, presencia de metales pesados, detergentes, herbicidas y ozono, entre otros, afectan la función del fotosistema II de manera directa o indirecta, lo cual modifica la emisión de la fluorescencia (González et al., 2008).

Cuando una hoja, previamente aclimatada a condiciones de oscuridad, es iluminada con luz de muy baja irradiancia, lo suficientemente débil, de tal manera que no se produzca disipación de la energía lumínica a través de vías fotoquímicas, la hoja emite una señal baja de fluorescencia, denominada fluorescencia basal en condiciones de aclimatación a la oscuridad (F_0). Si a continuación se aplica un pulso breve de luz hiper-saturante (normalmente, varios miles de $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$), la fluorescencia alcanza un máximo (F_m) que resulta de la saturación fotoquímica de la hoja; en estas condiciones, el aceptor primario de electrones del PSII está completamente reducido. La fluorescencia variable se define como la diferencia entre la fluorescencia máxima y la mínima ($F_v = F_m - F_0$). Con estos datos se puede calcular la relación entre la fluorescencia variable y la máxima, la cual se define como F_v/F_m . Este coeficiente puede tomar valores entre 0 y 0,85, mostrando una clara correlación con el porcentaje de centros funcionales del fotosistema II, por lo que su disminución es considerada un indicador de pérdida de función a nivel del aparato fotosintético, situación que podría ocurrir luego de una defoliación (Peña-Olmos y Casierra-Posada, 2013) o bajo un estrés hídrico severo (Bilger et al., 1995).

El uso combinado de fluorescencia de las clorofilas e intercambio gaseoso son una herramienta útil para distinguir entre efectos estomáticos y no estomáticos de disminución de la fotosíntesis (Valentini et al., 1995), como estrategia para discriminar la intensidad de los efectos de una sequía prolongada en vid. Diversas investigaciones centradas en los efectos del déficit hídrico en vid, concluyen que existen 4 beneficios de mantener un estrés hídrico controlado. El primero, máximo uso eficiente del agua, el segundo, rápida recuperación de la fotosíntesis con el riego, el tercero, una moderada pérdida de rendimiento en comparación con un riego intensivo y, por último, un mantenimiento de los caracteres de calidad en la baya (Flexas et al., 2004). Para el caso de una sequía severa, resulta necesario evaluar si estas respuestas y beneficios se mantienen, y en qué medida los manejos agronómicos pueden ayudar a mitigar los efectos negativos de la ausencia de suministros de agua de riego.

LITERATURA CITADA

- Abiven, S., S. Menasseri and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability- A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1-12.
- Annabi, M., S. Houot, F. Francou, M. Poitrenaud and Y. Le Bissonnais. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society America Journal*, 71: 413-423.
- Aravena, A. 2014. Evaluación del efecto de manejos de poda y enmiendas al suelo sobre el potencial hídrico de los brotes de olivos (*Olea europaea* L.) sometidos a déficit hídrico absoluto en la Región de Coquimbo. Memoria ingeniero agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 45 p.
- Asgharipour, M. and M. Rafiei. 2011. Effect of different organic amendments and drought on the growth and yield of Basil in the greenhouse. *Advances in Environmental Biology*, 5(6): 1233-1239.
- Bilger, W., U. Schreiber and M. Bock. 1995. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102: 425-432.
- Bota, J., J. Flexas, A. Keys, J. Loveland, M. Parry, and H. Medrano. 2002. CO₂/O₂ specificity factor of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in grapevines (*Vitis vinifera* L.): first in vitro determination and comparison to in vivo estimations. *Vitis*, 41: 163-168.
- Bota, J., H. Medrano, J. Flexas. 2004. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? *New Phytologist*, 162: 671-681.
- Caccavello, G., M. Giaccone, P. Scognamiglio, M. Forlani and B. Basile. 2017. Influence of intensity of post-veraison defoliation or shoot trimming on vine physiology, yield components, berry and wine composition in Aglianico grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23: 226-239.
- Casanova, M.; O. Salazar; O. Seguel and W. Luzio. 2012. The Soils of Chile. (Hartemik, A. ed.). The Netherlands: Springer. 183 p.
- CAZALAC. 2015. Estudio para Elaborar la Estrategia Regional de Recursos Hídricos por Cuenca 2014-2030, Región de Coquimbo. Estudio contratado como entidad mandante por la Corporación Regional de Desarrollo Productivo - Región de Coquimbo. 106 p.
- Chaves, M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42: 1-16.
- Chaves, M., J. Pereira and J. Maroco. 2003. Understanding plant response to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264.
- Chaves, M., O. Zarrouk, R. Francisco, R. Costa, T. Santos, A. Regalado, M. Rodrigues and C. Lopes. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105: 661-676.
- Choné X., C. Van Leeuwen, D. Dubourdieu and J. Gaudillère. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator for grapevine water status. *Annals Botany*, 87: 477-483.
- Coombe, B. and M. Mc Carthy. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape Wine Research*, 6: 131-135.
- Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomal apertura-not affecting ATP synthesis. *Trends Plants Science*, 5: 187-188.
- Deng, X., F. Fu, N. Ni and W. Li. 2009. Differential gene expression in response to drought stress in maize seedling. *Agricultural Sciences in China*, 8: 767-776.

- Domec, J. and D. Johnson. 2012. Does homeostasis or disturbance of homeostasis in minimum leaf water potential explain the isohydric versus anisohydric behaviour of *Vitis vinifera* L. cultivars?. *Tree Physiology*, 1: 1-4.
- Düring, H., 1987. Stomatal responses to alterations of soil and air humidity in grapevines. *Vitis*, 26: 9–18.
- Düring, H., 1988. CO₂ assimilation and photorespiration of grapevine leaves: responses to light and drought. *Vitis*, 27: 199–208.
- Efeoglu, B. y N. Ekmekçi. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *Journal of Botany*, 75: 34-42.
- Escalona, J., J. Flexas, J. Bota, H. Medrano. 2003 From leaf photosynthesis to grape yield: influence of soil water availability. *Vitis*, 42: 57-64.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. Descubrir el Potencial del Agua para la Agricultura. Kyoto, Japón. 72 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. 1st ed. 80 p.
- Fernández, M. E., J. Gyenge. 2010. Técnicas de medición en ecofisiología vegetal. 1^a ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. 140 p.
- Flexas, J., J. Escalona, H. Medrano. 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulations in grapevines. *Plant Cell Environment*, 22: 39–48.
- Flexas, J., J. Bota, J. Escalona, B. Sampol, H. Medrano. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology*, 29: 461-471.
- Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic, T. Sharkey. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6: 1-11.
- Franck, N. y V. Muñoz-Aravena. 2014. Frutales para zonas áridas y semiáridas. 1^a ed. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 224 p.
- Franks, P., P. Drake and R. Froend. 2007. Anisohydric but isohydrodynamic: seasonally constant plant water potential gradient explained by a stomatal control mechanism incorporating variable plant hydraulic conductance. *Plant, Cell and Environment*, 30: 19-30.
- Gómez Del Campo, M., C. Ruiz and J. Lissarrague. 2002. Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 53(2): 138-143.
- González, F. 2016 Lecciones de la sequía en la Región de Coquimbo [en línea]. Santiago, Chile: Red Agrícola. Recuperado en <http://www.redagricola.com/cl/lecciones-la-sequia-la-region-coquimbo-estamos-terremoto-todavia-no-termina-francisco-gonzalez-fruticultor-presidente-la-asociacion-canalistas-del-embalse-cogoti/>. Consultado el: 28 de febrero de 2018.
- González, M., H. Perales y M. Salcedo. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*, 27: 119-129.
- Griffiths, B., M. Bonkowski, J. Royc and K. Ritz. 2001. Functional stability, substrate utilization and biological indicators of soils following environmental impacts. *Applied Soil Ecology*, 16: 49-61.
- Gucci R. and C. Cantini. 2000. Pruning and training systems for modern olive growing. 1st edition. Australia. 147 p.

- Guo, P., M. Baum, S. Grando and S. Ceccarelli. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5(10): 751-757.
- Hillel, D., A. Warrick, R. Baker and C. Rosenzweig. 1998. Environmental soil physics. Academic Press. 771 p.
- Horn, R and H. Fleige. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil & Tillage Research*. 102: 201-208.
- Hueso, S., T. Hernández and C. García. 2011. Resistance and resilience of the soil microbial biomass to severe drought in semiarid soils: The importance of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 50: 27-36.
- Hueso, S., G. Brunetti, N. Senesi, K. Farrag, T. Hernández Y C. Garcia. 2012. Semiarid soils submitted to severe drought stress: influence on humic acid characteristics in organic-amended soils. *Journal soils Sediments*, 12: 503-512.
- Hugalde I. y H. Vila. 2014. Comportamiento isohídrico o anisohídrico en vides.... ¿Una controversia sin fin? *Revista de Investigación Agropecuaria*, 40: 75-82.
- INIA-ODEPA (Chile). 2000. Proyecto sistemas de validación y transferencia de tecnologías de riego sector regado de las provincias de San Felipe y Los Andes. Convenio INIA-ODEPA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación. La Platina. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Santiago. Chile. 52 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. 1st report. University of Cambridge, USA. 1819 p.
- Jackson, D., P. Lombard. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality- A review. *American Journal of Enology and viticulture*. 44: 409-430.
- Jordán, A., L. Zavala, J. Gil. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81: 77-85.
- Kütük, C., G. Cayci, A. Baran, O. Baskan and R. Hartmann. 2003. Effects of beer factory sludge on soil properties and growth of sugar beet (*Beta vulgaris saccharifera* L.). *Bioresource Technology*, 90: 75-80.
- León-González, F., M. Hernández-Serrano, J. Etchevers, F. Payán-Zelaya and V. Ordaz Chaparro. 2000. Short-term compost effect on macroaggregation in a sandy soil under low rainfall in the valley of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 56: 213-217.
- Lobato, A. y J. Valenzuela. 2000. Uva de mesa en Chile. 1^{era} edición. Santiago, Chile. 38 p.
- Lovisoló, C., W: Hartung y A. Schubert. 2002. Whole plant hydraulic conductance and root to shoot flow of ABA acid are independently affected by water stress in grapevines. *Functional Plant Biology*, 29: 1349-1356.
- Maroco, J., M. Rodrigues, C. Lopes, M. Chaves. 2002. Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought- metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Biology*, 29: 451-459.
- Medrano, H., J. Escalona; J. Bota, J. Gulías and J. Flexas. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89: 895-905.
- Milovic, M., R. Zamora y F. Santibáñez. 2013. Consecuencias de cambios en las variables de temperatura y precipitación para una pequeña comunidad agrícola de la región de Coquimbo, Chile. *Revista de Geografía Espacios*, 3(5): 43-53.
- Naor, A.. and R. Wample. 1994. Gas exchange and water relations of field-grown Concord *Vitis labruscana* Bailey) grapevines. *America Journal of Enology Viticulture*, 45: 333-337.

- Nicholls, C.; M. Altieri; A. Henao; R. Montalva y E. Talavera. 2015. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. 1ª ed. Lima, Perú. 59 p.
- ODEPA. (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2015a. Información regional 2015 Región de Coquimbo. Santiago, Chile: ODEPA. 17 p.
- ODEPA. (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2015b. Catastro frutícola Región de Coquimbo. Santiago, Chile: ODEPA. 45 p.
- Oliver, D. P., R.G.V. Bramley, D. Riches, I. Porter and J. Edwards. 2013. Review: soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19: 129-139.
- Pascual, I., M. C. Antolin, C. García, A. Polo and M. Sánchez-Díaz. 2007. Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions. *Technology*, 98: 29–37.
- Peña-Olmos, J. and F. Casierra-Posada. 2013. Chlorophyll fluorescence in partially defoliated grape plants (*Vitis vinifera* L. Cv. Chardonnay). *Revista Facultad Nacional de Agricultura Medellín*, 66: 6881-6889.
- Puget, P., P. Angers and C. Chenu. 1999. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 55-63.
- Quick, W., M. Chaves, R. Wendler, M. David, M. Rodrigues, J. Passaharinho, J. Pereira, et al. 1992. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant Cell Environment*, 15: 25–35.
- Regelink, I., C. R. Stoof, S. Rousseva, L. Weng, G. J. Lair, P. Kram, N. P. Nikolaidis, et al. 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma*, 247–248: 24–37.
- Rivera, A.; G. Casassa; C. Acuña y H. Lange, 2000. Variación reciente de glaciares en Chile, *Revista Investigaciones Geográficas*, 34(1): 29-60.
- Rivera, F. 2015. Evaluación de la respuesta de plantas de *Vitis vinifera* L. a enmiendas de suelos y defoliación en postcosecha bajo un estrés hídrico severo tardío. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 46 p.
- Sade N.; A. Gebremedhin and M. Moshelion. 2012. Risk taking plants: Anisohydric behaviour as a stress resistance trait. *Plant Signaling and Behavior*, 7: 767-770.
- Santibáñez, F.; V. Santibáñez; C. Caroca; P. Morales; P. Gonzales; N. Gajardo; P. Perry y C. Melillán, 2014. Atlas del cambio climático en las zonas de régimen árido y semiárido: Regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 138 p.
- Schultz, H.R. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment*, 26: 1393-1405.
- Seguel, O., V. Cortázar y M. Casanova. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica*, 63(3): 287-297.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J. I. Covarrubias, C. González and L. Poblete. 2013. Physical properties of a fine textured haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(3): 690- 705.
- Seguel, O. y C. Parra. 2017. Propiedades físicas del suelo y parámetros de rendimiento de trigo en un Ultisol tratado con ácido húmico. [en línea]. Santiago, Chile: Red Agrícola.

- Recuperado en <http://www.redagricola.com/cl/suelos-mas-sustentables-efectividad-acidos-humicos-otras-enmiendas/> Consultado el: 21 de marzo de 2018.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume I. Vol (1). 1338 p.
- Tardieu, F. and T. Simonneau. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviors. *Journal of Experimental Botany*, 49: 419-432.
- Tejada, M., M. Hernández and C. García. 2007. Application of two organic wastes in a soil polluted by lead: effects on the soil enzymatic activities. *Journal Environmental Quality*, 36: 216–225.
- Turner, N., E. Schulze and T. Gollan. 1984. The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. *Oecologia*, 63: 338-342.
- UNFPA (United Nations Fund for Population Activities). 2016. Estado de la población mundial. 112p.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1997. World Atlas of Desertification. Second Edition. Middleton, USA. 182 p.
- Valentini, R. D. Epron, P. Angelis, G. Matteucci and E. Dreyer. 1995. In situ estimation of net CO₂ assimilation photosynthetic electron flow and photorespiration in Turkey oak (*Quercus cerris*) leave: diurnal cycles under different levels of water supply. *Plant, Cell and Environment*, 18: 631-640.
- Vallabhaneni, R. and E. Wurtzel. 2010. Epoxy carotenoids to ABA: The role of ABA 8,-hydroxylases in drought stressed maize roots. *Biochemistry and Biophysics*, 504: 112-117.
- Van Leeuwen C., P. Friant, X. Choné, O. Trégoat, S. Koundouras and D. Dubourdiou. 2004. The influence of climate, soil and cultivar on terroir. *American Journal Enology and Viticulture*, 55: 207-217.
- Van Leeuwen C., O. Tregot, X. Chone, B. Bois, D. Pernet and J. Gaudillère. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine: how can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International Science Vigne Vin*, 43(3): 121-134.
- Vandeleur, R., G. Mayo, M. Shelden, M. Gilliam, B. Kaiser and S. Tyerman. 2009. The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiology*, 149: 445-460.
- Warrick, A. W. 2002. Soil physics companion. Washington D.C. 389 p.
- Weber, J., A. Karczewska, J. Drozd, M. Licznar, S. Licznar and E. Jamroz. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1294-1302.
- Xu, Z. and G. Zhou. 2008. Responses of leaf stomatal density of water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *Journal of Experimental Botany*, 59(12): 3317-3325.
- Zeng, C., Q. Wang, F. Zhang and J. Zhang. 2013. Temporal changes in soil hydraulic conductivity with different soil types and irrigation methods. *Geoderma*, 193-194: 290-299.

CAPÍTULO II. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MANEJOS DE CHAPODA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA CONDICIÓN DE LA VID CV. CHARDONNAY SOMETIDA A SEQUÍA

RESUMEN

Bajo el contexto de escasez hídrica en la región de Coquimbo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo y manejos de chapoda, sobre las propiedades físicas del suelo, la condición de planta y el rendimiento de la vid (*Vitis vinifera*) cv. Chardonnay, sometidas a una interrupción total del riego en la Región de Coquimbo. Se utilizaron plantas de vid de seis años conducidas en espaldera y establecidas en un pie franco sobre un suelo arcilloso (Vertisol). En una primera temporada, la suspensión del riego se realizó en postcosecha, y en una segunda temporada en post enero. Se estableció un ensayo que combina diversos tratamientos, consistentes en reducciones del área foliar: 0, 50 y 80% y aplicación de enmiendas orgánicas: sin aplicación, aplicación de ácido húmico (Pow humus, 40 kg ha⁻¹), aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno (Twin N, 10¹¹ UFC ha⁻¹), además, una combinación de 50% de chapoda con enmienda de ácido húmico. Las enmiendas orgánicas, en particular las bacterias fijadoras de nitrógeno son efectivas en mejorar las condiciones físicas del suelo, aumentando los potenciales hídricos de suelo. La chapoda de 80% indujo menores potenciales de tallo en la primera temporada y mayores valores de transpiración y conductancia estomática en la segunda temporada. El tratamiento regado presentó los mayores rendimientos (2,9 kg planta⁻¹) y el tratamiento con 80% de chapoda, los menores (0,9 kg planta⁻¹); a pesar de estas diferencias, todos los tratamientos presentaron un igual contenido de sólidos solubles y acidez.

Palabras clave: *Vitis vinifera*; sequía; enmiendas de suelo; podas de verano.

ABSTRACT

In the context of the drought in northern Chile, the aim of the work was to evaluate the application of soil organic amendments and summer pruning management, on the soil physical properties, the performance and yield of cv. Chardonnay grapevine (*Vitis vinifera*), submitted to a total irrigation interruption in the Coquimbo region. Grapevine plants six years old, grown on trellises and planted on their own root and established on a clay soil (Vertisol) were used. During a first season, irrigation suspension is performed post-harvest and in a second season, post-veraison. A trial combining diverse treatments is established consisting in reductions of foliar area: 0, 50 and 80% and the application of organic amendments: without application, humic acid application (Pow humus, 40 kg ha⁻¹), nitrogen fixing bacteria application (Twin N, 10¹¹ UFC ha⁻¹). Also, a combination of 50% of pruning with humic acid amendment was applied. Organic amendments, particularly nitrogen fixing bacteria, are effective improving the soil physical conditions, which generates higher hydric soil potential. 80% pruning generates higher stem potential during the first season and greater transpiration and stomatic conductance values in the second season. The irrigated treatment reached the highest yields (2.9 kg plant⁻¹) and the 80% pruning treatment, the lowest (0.9 kg plant⁻¹). Despite these differences, all treatments have an equal content of soluble solids and acidity.

Keywords: *Vitis vinifera*; drought; soil amendments; summer pruning.

INTRODUCCIÓN

El planeta hoy en día sufre de profundas modificaciones; por un lado, el crecimiento exponencial de la población humana ha llegado a cifras cercanas a los 7.000 millones de personas y se espera que para el año 2025 esta cifra llegue a los 8.500 millones (UNFPA, 2016), incrementando sustantivamente la demanda de alimentos y materias primas (Santibáñez et al., 2014), lo que ha obligado a cultivar en zonas donde tradicionalmente no se hacía (Nicholls et al., 2015). Por otro lado, el crecimiento acelerado de la población trae consigo una mayor concentración de gases con efecto invernadero (IPCC-WGII, 2007), lo que podría causar un aumento de 1,4 a 5,8 °C en las temperaturas superficiales globales e influir fuertemente la frecuencia y cantidad de precipitaciones (IPCC, 2014), haciendo cada vez más frecuentes eventos climáticos extremos, tales como sequía, eventos de heladas y olas de calor y frío (Santibáñez et al., 2014). Un claro ejemplo de esta variabilidad es la Región de Coquimbo, zona donde hoy en día precipitan sólo 138,2 mm año⁻¹, con extremos de 60 a 180 mm año⁻¹ y evapotranspiración potencial de 1.464 mm año⁻¹, presentando un déficit hídrico anual cercano a los 1.300 mm año⁻¹ (Santibáñez et al., 2014).

Según un indicador usado por el programa ambiental de las Naciones Unidas, que clasifica zonas según el cociente anual entre su precipitación y su evapotranspiración, Coquimbo fue catalogado como una zona árida (UNEP, 1997). Este tipo de zonas climáticas, presentan 9 a 11 meses de periodo seco y altas demandas atmosféricas, generando un déficit hídrico sostenido, ya que las precipitaciones no alcanzan a cubrir el 20% de las demandas (Santibáñez et al., 2014). Por otra parte, los suelos tienen un gran potencial de generar escorrentía superficial (Casanova et al., 2012), dado los bajos contenidos de materia orgánica y las precipitaciones de bajo monto, pero de alta intensidad (Ellies, 2005).

Los efectos del cambio climático afectan a numerosos rubros, pero es la actividad agrícola la más vulnerable (Santibáñez et al., 2014), en especial en zonas áridas o semi áridas con clima mediterráneo, donde el agua es el recurso más limitante para la producción de alimentos (Ragab y Prudhomme, 2002; Hueso et al., 2012). Esto se hace particularmente importante en la producción frutal, con presencia de especies con ciclos de vida largos, las cuales requieren el aseguramiento de la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada y de manera permanente en el tiempo (Sadras, 2009). Tal es el caso de la vid cultivar Chardonnay, la cual presenta 744,5 ha plantadas en la Región de Coquimbo y 10.693 ha a nivel nacional (ODEPA, 2015a), la cual, a diferencia de los cultivos anuales, corresponde a una inversión a largo plazo, por lo que al producirse una sequía que las afecte, las pérdidas económicas serán sustantivamente mayores (Franck y Muñoz-Aravena, 2014). De hecho, en la Región de Coquimbo se perdieron 2.085 ha destinadas a frutales entre 2011 y 2015 debido a estos cambios (ODEPA, 2015b).

Por lo antes expuesto, se hace indispensable contar con herramientas de gestión del recurso hídrico, para darle la mayor utilidad al agua que ingresa al sistema (Hueso et al., 2011), implementando prácticas agronómicas ligadas al suelo y a la planta que minimicen los efectos de la sequía. Al respecto, la FAO (2005) señala que las medidas para afrontar la escasez hídrica deben ir enfocadas a aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo,

la eficiencia en su uso y la capacidad de resiliencia de las plantas para combatir de buena manera escenarios de sequías.

Una de las prácticas asociadas al incremento de la productividad agrícola es la incorporación de materia orgánica al suelo, ya que el contenido de materia orgánica está íntimamente ligado con la calidad general del suelo, afectando positivamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas (FAO, 2005; Hueso et al, 2011). La adición de enmiendas orgánicas a los suelos genera un aumento en la productividad agrícola en condiciones climáticas extremas (Song et al., 2014), ya que contribuyen sustancialmente a la fertilidad global del suelo, por el aporte de macro y micronutrientes esenciales para las plantas, pero especialmente mejoran la retención de nutrientes en el suelo, evitando la lixiviación a capas más profundas y evitando posibles contaminaciones (Medina y Azcón, 2010). También aumenta la diversidad y la proliferación de los microorganismos del suelo, favoreciendo la actividad biológica de este y el reciclaje de nutrientes (Pascual et al., 2007).

Diversos autores, como Annabi et al. (2007) y Seguel et al. (2013a), concluyen que suelos con enmiendas orgánicas ven favorecida su estructuración, aumentando la matriz porosa, lo que trae consigo una disminución de la resistencia a la penetración y la densidad aparente, aumentando la tasa de infiltración y la retención de agua, lo que favorece la dinámica del agua en el perfil. Todas estas propiedades son importantes indicadores de una buena calidad física del suelo (Naderi-Boldaji y Keller, 2016) lo que permite a las raíces poder desarrollarse de mejor manera y tener plantas con menores niveles de estrés y por ende más resistentes y resilientes a estos cambios (Bauer y Black, 1994; Perrone et al., 2012).

Las prácticas asociadas a las plantas para sobrellevar un estrés se relacionan con la capacidad de usar de forma más eficiente los recursos (Pereyra y Quiriban, 2014). Con un abastecimiento hídrico adecuado, las plantas transpiran a su nivel máximo, lo que permite que las hojas se mantengan 1 o 2 °C bajo la temperatura del aire. Si la planta se ve expuesta a condiciones adversas, como en el caso de un estrés hídrico, se producirá un cierre estomático completo, con lo que se disminuye su transpiración y aumenta hasta 10 °C su temperatura foliar, pudiendo ocasionar muerte de tejidos (Cochard et al., 2002). Es por esto que se piensa que una poda severa podría contribuir a solucionar este problema, ya que una reducción del área foliar reduce la transpiración, disminuyendo la necesidad de agua por temporada, lo que potencialmente se puede traducir en una mejora del estado hídrico de las plantas (Jiménez-Casas y Zwiazek, 2013).

En el contexto del proyecto “Estrategias agronómicas de gestión del riego que permitan aumentar la productividad del agua y la sustentabilidad de sistemas frutícolas ante el proceso de aridización” (FIA N° PYT-20160152), se está estudiando la respuesta fisiológica de los frutales relevantes de la Región de Coquimbo cuando se realizan diferentes manejos agronómicos ante una situación de imposibilidad de riego, por lo que se hace necesario encontrar la mejor condición de manejo para mejorar la respuesta al estrés de las plantas.

HIPÓTESIS

La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo y los manejos de chapoda en la vid cv. Chardonnay mejoran su condición fisiológica y rendimiento en condición de sequía.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar los efectos de las enmiendas orgánicas y manejos de chapoda sobre el estatus hídrico, capacidad fotosintética y rendimiento de las plantas de vid cv. Chardonnay sometidas a suspensión del riego en la Comuna de Ovalle, Región de Coquimbo.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de diferentes enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas de suelo bajo corte total del riego.
2. Determinar el efecto del uso de enmiendas de suelo y manejos de chapoda sobre el potencial hídrico, intercambio gaseoso, fluorescencia de las clorofilas, interceptación de radiación y el rendimiento de plantas de vid cultivar Chardonnay sometidas a déficit hídrico.
3. Comparar las variables evaluadas al aplicar los diferentes manejos agronómicos con un control sin enmienda, ni poda, ni riego y otro con aplicación de riego.

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del estudio

El estudio se localizó en terrenos de la Sociedad Agrícola y Ganadera Río Negro Ltda., ubicado en la localidad de Tabalí, Comuna de Ovalle, Provincia del Limarí, Región de Coquimbo ($30^{\circ}41'37.31''S$; $71^{\circ}23'45.67''O$), específicamente en un huerto comercial de vid cv. Chardonnay (Figura 1). El ensayo se realizó en una primera etapa la temporada 2016-2017 y en una segunda etapa en la temporada 2017-2018.



Figura 1. Foto satelital de la ubicación del ensayo.

El sector presenta un clima semiárido con nubosidad abundante, generando marcadas oscilaciones térmicas diarias, con escasas lluvias invernales y temperatura media de $15,8^{\circ}\text{C}$; el mes más cálido es enero, con una temperatura media promedio de $28,3^{\circ}\text{C}$ y el mes más frío es julio, con una temperatura media promedio de $5,8^{\circ}\text{C}$ (Uribe *et al.* 2012). La precipitación anual alcanza los $138,2\text{ mm año}^{-1}$ y una evapotranspiración potencial de 1.464 mm año^{-1} , presentando un déficit hídrico anual cercano a los 1.300 mm año^{-1} (Santibáñez *et al.*, 2014).

El sitio se encuentra en posición de terraza fluvial antigua, mapeada por CIREN (2005) como una unidad cartográfica de la Serie de suelos Tuquí (antigua Serie San Julián) (Typic

Haplotorrert), moderadamente profunda y pendientes del 1 al 3 %. Se realizó la descripción morfológica de tres calicatas, observándose un suelo relativamente homogéneo; en superficie presenta una clase textural franco arcillosa, con un color en el matiz 7,5YR, estructura en bloques sub angulares finos; en profundidad la clase textural es arcillosa, el color se vuelve más rojizo, en el matiz 5YR, y la estructura es de bloques subangulares medios y gruesos. Bajo los 50 cm se encuentra una arcilla densa que impide el normal enraizamiento.

De la caracterización inicial se determinó que la densidad aparente en superficie fue $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$, con un valor de contenido volumétrico de agua a capacidad de campo cercano al 20%, en tanto el punto de marchitez permanente alcanza el 12%; en profundidad la densidad aparente fue de $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$, con valores de contenido de agua a capacidad de campo cercanos al 40% y al 30% para el caso de punto de marchitez permanente.

Los análisis de muestras de suelos se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Por su parte, los análisis de bayas se realizaron en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la misma Facultad. Para las evaluaciones fisiológicas en terreno se utilizó el instrumental de Laboratorio de Adaptación de las Plantas a la Aridez, dependiente del Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA) de la Universidad de Chile.

Material biológico

Se dispuso de una plantación comercial de vid cv. Chardonnay de 6 años de edad, plantadas en un marco de 1,5 m x 0,9 m, conducidos en espaldera, con orientación noroeste-sureste y un sistema de riego por goteo de una línea, con emisores de 2 L h^{-1} dispuestos cada 45 cm. La poda de invierno y el manejo de carga frutal se mantuvo igual que el resto del cuartel, de acuerdo a los manejos agronómicos del predio.

Tratamientos y diseño experimental

Se seleccionaron 5 hileras (repeticiones), las cuales contenían plantas homogéneas entre sí; se consideró como unidad experimental a tres plantas continuas con su respectivo suelo, donde se establecieron tratamientos de podas y enmiendas, evaluando la planta central de cada unidad experimental.

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizado, donde el factor de bloqueo es la hilera; para las variables ecofisiológicas y aquellas ligadas al suelo se analizó por separado cada fecha de medición y cada profundidad respectivamente. El modelo que describe este diseño experimental es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + EE_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

μ : media general de las observaciones.

T_i : efecto fijo del i-ésimo tratamiento.

B_j : efecto aleatorio del k-ésimo bloque.

EE_{ij} : variable aleatoria normal (error).

Se estableció un ensayo con un total de 8 tratamientos y 5 repeticiones cada uno, los cuales se detallan en el Cuadro 3. Se eligieron dichos tratamientos ya que en investigaciones anteriores enmarcadas dentro del mismo grupo de estudios (CEZA) se probaron distintas enmiendas (E) y manejos de poda (P), obteniéndose los mejores resultados con 50% de poda y aplicación de ácido húmico, por lo que se decidió utilizar ambos y la combinación de estos. Además, dados los antecedentes bibliográficos, se incluyó una enmienda nueva como el Twin N y poda de 80%.

Cuadro 3. Tratamientos del ensayo.

Tratamientos	
Con riego	RI
Sin poda, sin enmienda	P0E0
Poda 50%, sin enmienda	P5E0
Poda 80%, sin enmienda	P8E0
Sin poda, con ácido húmico	P0EA
Sin poda, con bacterias nitrificantes	P0EB
Sin poda, con ácido húmico y bacterias nitrificantes	P0EAB
Poda 50%, con ácido húmico	P5EA

Para el caso del ácido húmico, se utilizó el producto comercial Pow Hummus en una dosis de 40 kg ha⁻¹, el cual es un complejo de sustancias húmicas bio-activas, derivados de leonardita, 100% soluble en agua, con un 85% de extracto húmico (ácidos húmicos y fúlvicos). Para la enmienda con bacterias fijadoras de nitrógeno se utilizó el producto comercial Twin N, el cual es un fertilizante biológico en base a bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos diazotrofos, cuya dosis correspondió a 10¹¹ UFC (unidades formadoras de colonia) ha⁻¹.

Manejo del ensayo

Aplicación de enmiendas orgánicas. Se realizó simulando un fertirriego; en la primera temporada la aplicación se realizó parcializada, la primera mitad en octubre de 2016 y la segunda mitad en enero del año 2017; en la segunda temporada la aplicación de la dosis total fue en enero de 2018. Luego de cada adición de enmiendas orgánicas se realizó un último riego, con el fin de lograr una correcta incorporación al suelo.

Chapoda. Se realizó una poda vertical, el mismo día del corte definitivo del riego, simulando un manejo mecanizado. Se utilizaron dos niveles de poda, el primero al 50% de altura de la canopia, el cual coincide con la altura del alambre superior de la espaldera, el segundo nivel

se realizó al 20% de altura de la canopia, el cual coincide con la altura del segundo alambre de la espaldera. Lo que se intentó lograr con estos manejos es disminuir la altura de la planta en un 50% y un 80% respectivamente, buscando una menor interceptación de radiación.

Suspensión del riego. En la primera temporada el corte del riego se realizó en post cosecha; en la segunda temporada éste se realizó en post envero. Además, en la segunda temporada se contó con un tratamiento regado (RI, Cuadro 3), el cual estuvo alejado de los otros tratamientos, siendo regado al igual que el resto de las plantas del cuartel; para la primera temporada no se realizó ningún riego en la viña después de que se llevaran a cabo los tratamientos, por lo que no se consideró el tratamiento regado dentro del análisis.

Evaluaciones

Análisis de suelo

El análisis de suelo se realizó en abril de 2017, con el fin de cuantificar el efecto de las enmiendas luego de 3 meses desde su aplicación. En noviembre de 2017 se repitió el muestreo para conocer la condición de suelo con que las plantas enfrentarían la segunda temporada de mediciones, y en abril de 2018 se realizó el tercer muestreo para evaluar el efecto de dos años consecutivos de aplicación de enmiendas orgánicas al suelo bajo condiciones de corte de riego. Los muestreos en todos los casos se realizaron en rangos de profundidad de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, realizándose los análisis detallados a continuación

Curva característica y densidad aparente. Se procedió a realizar calicatas en tres de los cinco bloques, obteniendo material en cilindros de 5,9 cm de diámetro y 5 cm de altura para determinar la curva característica, con la cual se calculó la distribución de tamaño de poros, aplicando tensiones crecientes en una cama de arena, olla y plato de presión (Hartge y Horn, 2009). Al final del proceso, se calculó la densidad aparente mediante el método del cilindro (Sandoval et al., 2012), secando la muestra de suelo del cilindro en una estufa a 105°C.

Relación de dispersión. Por otra parte, se midió la estabilidad de microagregados mediante la relación de dispersión (Berryman *et al.*, 1982). Para ello, se tamizaron las muestras de suelo seco, seleccionando agregados de uno y dos milímetros de diámetro. Posterior a ello, se pesaron dos submuestras de 50 g, a las cuales se les aplicó 200 mL de agua destilada. A una de estas muestras se le aplicó 20 mL de un dispersante (polifosfato de sodio), mientras que a la contramuestra se le aplicó sólo agua destilada. Luego de 16 horas se agitó mecánicamente la submuestra con dispersante, para luego trasvasiarla a una probeta, enrasándola a un litro de agua destilada. Se realizó una lectura de densidad una vez transcurridos 40 segundos desde la agitación de la suspensión, para determinar el contenido de arcilla más limo total en el sobrenadante; lo mismo se realizó en la muestra sin dispersante químico ni agitación mecánica, determinando la arcilla más limo producto de la dispersión con agua destilada. Finalmente se calculó la relación de dispersión (RD), mediante el cociente entre los contenidos de arcilla y limo de la muestra sin dispersante y la con dispersante.

Contenido de agua del suelo. Se obtuvo el valor de contenido volumétrico de agua en el suelo a través de una sonda FDR calibrada (DIVINER 2000, SENTEK), en tres de los cinco bloques.

Variables ecofisiológicas

En la primera temporada (2017) el corte del riego se realizó el día 8 de marzo, coincidiendo con la postcosecha; a partir de esa fecha se realizaron mediciones contabilizando los días después del corte del riego (DDC). Las mediciones se realizaron el día 9 de marzo (1 DDC), 24 de marzo (13 DDC), 13 de abril (33 DDC) y 28 de abril (48 DDC).

Para la segunda temporada (2018) el corte se realizó el día 15 de enero, cuando la planta se encontraba en envero. Las mediciones se realizaron el día 16 de enero (1 DDC), 22 de enero (7 DDC), 30 de enero (15 DDC), 14 de febrero (30 DDC), 26 de febrero (42 DDC), 23 de marzo (67 DDC) y 13 de abril (88 DDC). Las mediciones correspondieron a:

Potencial hídrico del suelo. Con una cámara de presión tipo Scholander (PMS 1505D), se procedió a medir el potencial hídrico de las hojas previo a la salida del sol, cuyo valor se asemeja al potencial hídrico del suelo.

Potencial hídrico de brote. Con la misma cámara de presión tipo Scholander, se procedió a introducir una hoja en un bolsa cerrada herméticamente y cubierta con papel aluminizado para que la hoja deje de transpirar y se iguale con el potencial del brote. Al cabo de una hora, se realizó la medición de potencial de brote a medio día solar (Fernández y Gyenge, 2010), con el fin de censar el momento más estresante del día.

Intercambio gaseoso. Con un analizador de gases infrarrojo (IRGA; ADC LCPro+), se midió la fotosíntesis neta, la conductancia estomática y la transpiración sobre una hoja sana, con una radiación artificial de $1750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, medición que se realizó a medio día solar.

Fluorescencia de clorofilas. Mediante un fluorómetro portátil (Hansatech FMS 2, Norfolk, USA) se obtuvo la tasa de fluorescencia máxima y variable, para así obtener Fv/Fm. Para esto, se oscurecieron las hojas 30 minutos previos a la medición con pinzas-clip.

Para las mediciones que contemplaron la elección de una hoja (potenciales, intercambio gaseoso y fluorescencia de las clorofilas), se seleccionó una hoja adulta, sana y expuesta a la radiación.

Cosecha

Al final de la segunda temporada se cosechó el ensayo y se procedió a medir los siguientes parámetros:

Rendimiento. Se procedió a medir los kilogramos de fruta por planta para las 40 plantas del ensayo.

Acidez titulable. Se determinó el gasto en NaOH 0,1 N en el mosto obtenido de dos racimos por planta según los descrito por Pszczolkowski y Ceppi de Lecco (2011).

Sólidos solubles. Se procedió a medir los grados Brix del mosto del jugo obtenido de dos racimos por planta, con un refractómetro manual según los descrito por Pszczolkowski y Ceppi de Lecco (2011).

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante modelos lineales mixtos (MLM). En el caso de encontrar diferencias significativas, se realizaron pruebas de contrastes y prueba de comparaciones múltiples (PCM) de Fisher ($\alpha= 0,05$) para los datos ligados al suelo y prueba de separación de medias DGC ($\alpha= 0,05$) para los datos ligados a ecofisiología y rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas (E_{t_0} y DPV) de los respectivos días de medición del año 2017 y 2018 se muestran en la Figura 2 y 3. Se puede apreciar que el día 30 después del corte de riego, es aquel con las condiciones climáticas más demandantes en términos de evapotranspiración durante el año 2018.

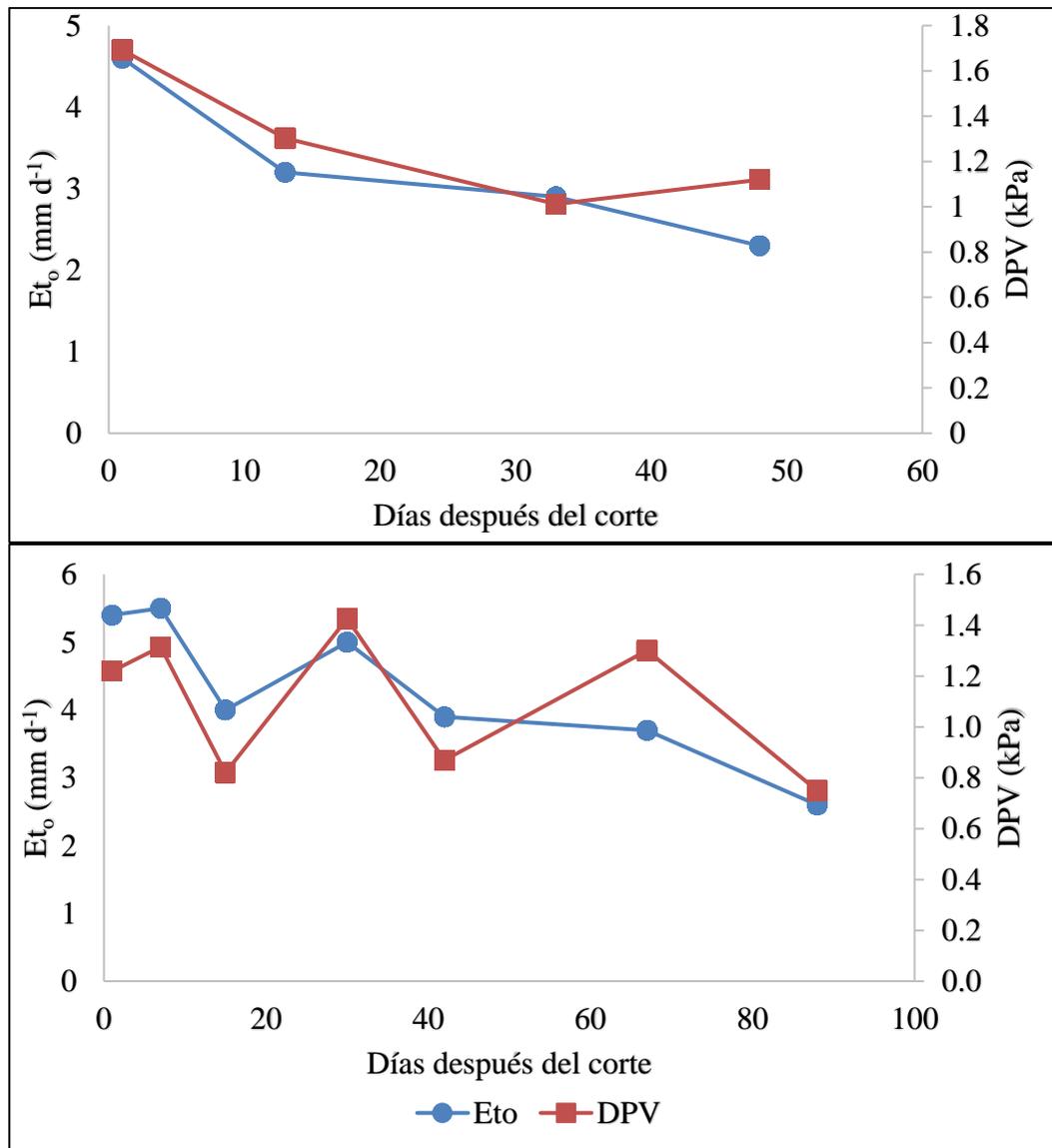


Figura 2. Evolución de las variables climáticas evapotranspiración de referencia (E_{t_0}) y déficit de presión de vapor (DPV) durante la temporada 2017 (arriba) y 2018 (abajo).

Radiación interceptada

Se procedió a calcular la fracción de radiación interceptada para cada tratamiento antes y después de la aplicación de chapodas, con el objetivo de cuantificar la disminución de la interceptación por el efecto de estas. Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamiento podados y los no podados (Figura 3). El porcentaje de disminución de interceptación fue de 32,09% para las plantas con 50% de chapoda y 34,26% para las plantas con 80% de chapoda, no existiendo diferencias estadísticas entre sí, lo que se puede deber a la sombra producida por la madera de la vid, tendiendo a igualar los valores de interceptación. Dada la conducción en espaldera, es esperable la interceptación cercana al 50% en los tratamientos no podados.

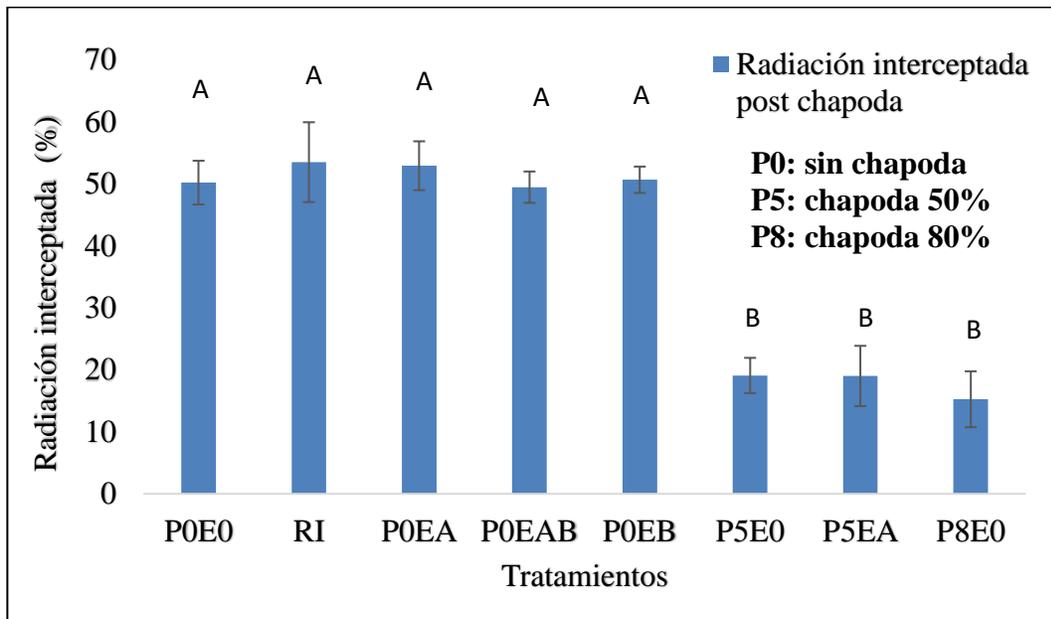


Figura 3. Fracción de radiación interceptada post chapoda y fracción podada para los diferentes tratamientos.

Propiedades físicas de suelo

Los resultados de las propiedades físicas de suelo determinadas en abril de 2017 se muestran en la Figura 4. Para el caso de la densidad aparente, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para ninguna de las tres profundidades (Figura 4A). En relación a los poros de agua útil (PAU), poros que representan la retención de agua entre -33 y -1.500 kPa, considerado equivalente al agua aprovechable del suelo (CC-PMP), se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el segundo horizonte (20-40 cm), donde se puede observar que el uso de enmiendas contribuyó al aumento de poros de agua útil, en mayor proporción en el tratamiento con aplicación de ambas enmiendas. Cabe destacar que tanto la aplicación de ácido húmico y la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno tuvieron un desempeño intermedio (Figura 4B). Finalmente, para los poros de drenaje, encargados de los procesos de infiltración y aireación (Tejada et al., 2007), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las profundidades (Figura 4C).

Los resultados de las propiedades físicas medidas en noviembre de 2017 se muestran en la Figura 5. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la densidad aparente en el segundo horizonte, siendo menor en P0EB, lo que equivale a un mayor porcentaje de poros; por su parte, los tratamientos con aplicación de ácido húmico tuvieron un desempeño intermedio (Figura 5A). Para los poros de agua útil (PAU), nuevamente se generaron diferencias en el segundo horizonte, siendo el tratamiento con aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno (P0EB) el con mayor proporción de PAU, dejando al tratamiento con aplicación de ácido húmico y al con aplicación de ambas enmiendas orgánicas en una situación intermedia (Figura 5B). En relación a los poros de drenaje, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las profundidades (Figura 5C).

Es sabido que el uso de materia orgánica tiene un impacto sobre la porosidad en los suelos (Cuevas et al. 2006) ya sea en el total como en la distribución porcentual de sus clases según tamaño, sin embargo, estos cambios dependerán de la dosis, frecuencia y tipo de enmiendas utilizadas (Abiven et al., 2009). En la caracterización inicial, la densidad aparente en superficie fue de $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ y en profundidad fue de $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$. Según USDA (2008) un valor óptimo para un suelo con textura franco arcillosa a arcillosa debería estar en torno a los $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$, lo que para los resultados del estudio indica una condición estructural deteriorada, sobre todo en profundidad. Esto puede explicar que la densidad aparente no mostró diferencias a corto plazo (abril 2017) (Seguel y Marín, 2011), pero sí una disminución de este atributo en noviembre de 2017, luego de pasar por un proceso de crecimiento de raíces y por ciclos de humectación y secado, lo cual desempeña un proceso importante en la agregación de los suelos por un reordenamiento de las partículas y generación de uniones órgano-minerales (Lal y Shukla, 2004).

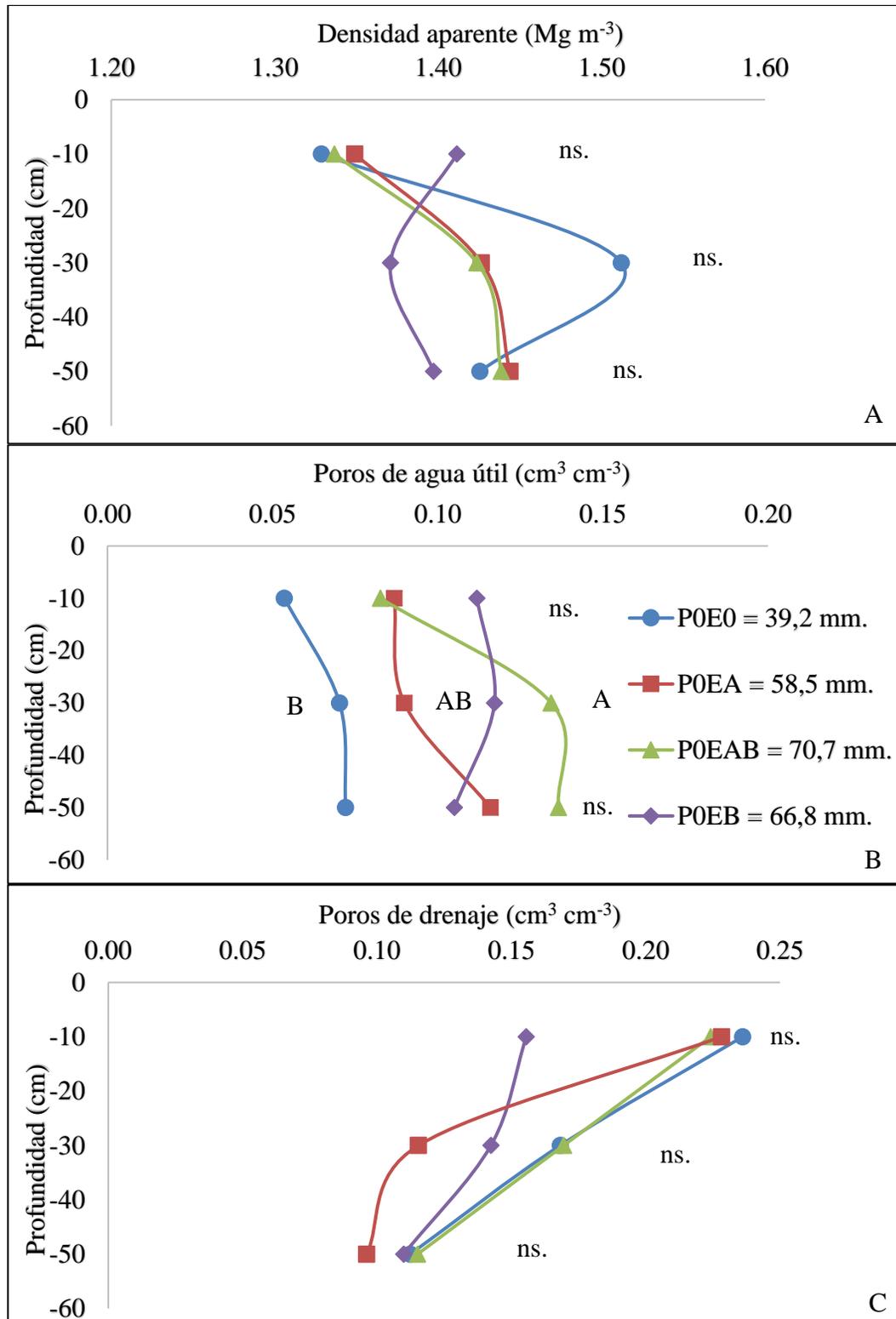


Figura 4. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la densidad aparente del suelo (A), los poros de agua útil (B) y los poros de drenaje (C), para las tres profundidades evaluadas en abril de 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma profundidad ($p < 0,05$).

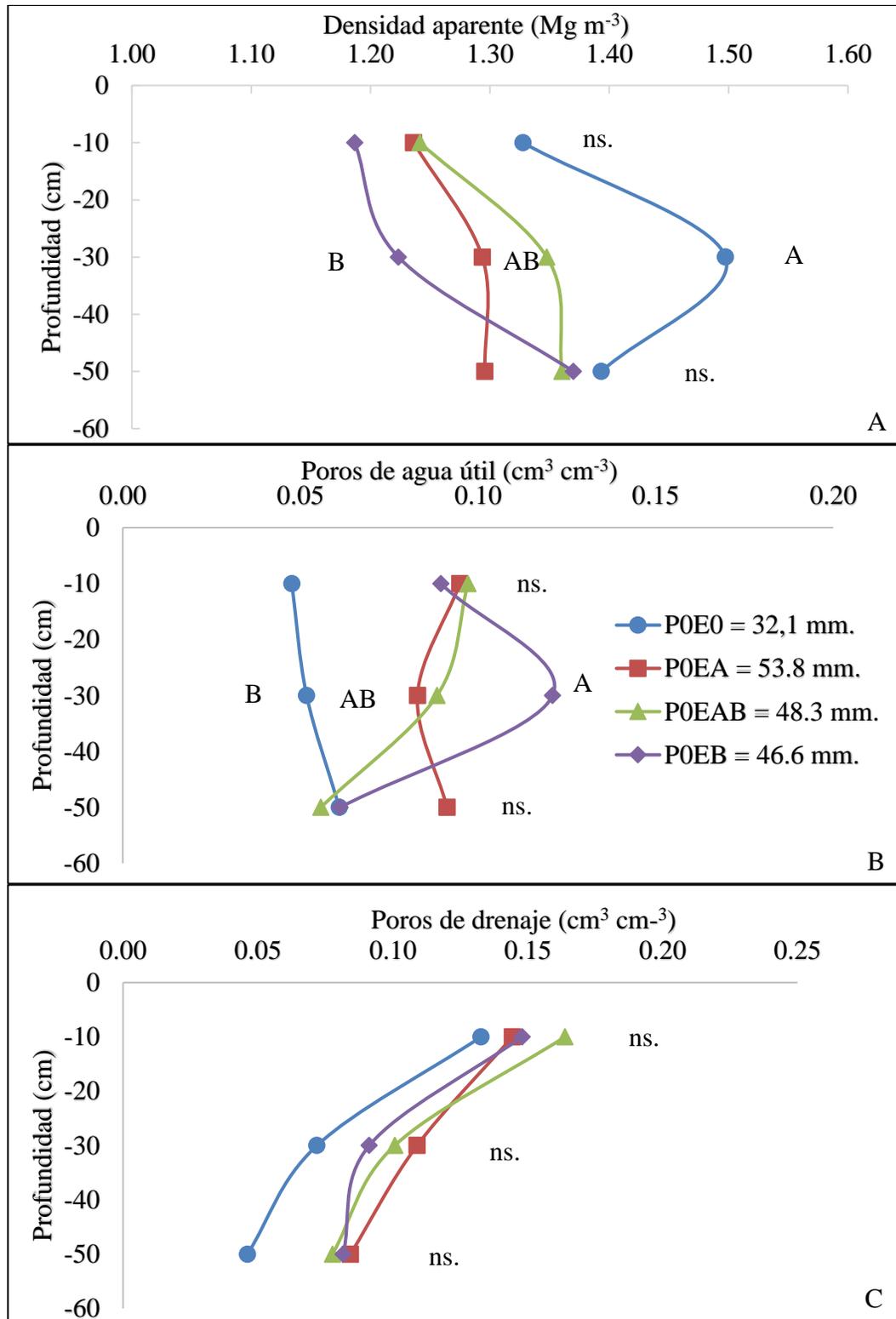


Figura 5. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la densidad aparente del suelo (A), poros de agua útil (B) y poros de drenaje (C), para las tres profundidades analizadas en noviembre de 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma profundidad ($p < 0,05$).

Dado que la densidad aparente disminuyó, la matriz porosa total aumentó, ya que ambos parámetros están íntimamente relacionados (Papadopoulos et al., 2014). Resultados similares obtuvieron Seguel *et al.* (2013b) quienes utilizaron enmiendas húmicas en la misma serie de suelo, obteniendo una disminución de la densidad aparente.

Los resultados obtenidos sobre los poros de agua útil arrojaron que existen diferencias estadísticamente significativas en las dos fechas analizadas. En la primera fecha (Figura 4) se puede apreciar que el tratamiento que tuvo el mejor desempeño fue la combinación de ambas enmiendas y en la segunda fecha (Figura 5) el con mejor desempeño es la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno. Esto se puede deber a que la aplicación de bacterias actúa sobre el crecimiento de raíces, lo cual es un factor de estructuración, incrementando los poros de almacenamiento de agua a mediano y largo plazo (Hueso et al., 2012).

Cabe destacar que para abril de 2018 se realizó nuevamente la distribución de tamaño de poros a partir de la curva característica, pero debido a la naturaleza del suelo del ensayo, con presencia de arcillas expandibles (CIREN, 2005) y una condición de corte de riego prolongado, al momento de hidratar las muestras estas se expandieron y no se mantuvieron confinadas en los cilindros en los cuales se realizó el muestreo. Es por esto que los resultados no son plenamente confiables, por lo que se tomó la determinación de no incluirlos en el trabajo; sin embargo, con los datos obtenidos se logró determinar la porosidad total por tratamiento, indicando mayores valores para los tratamientos con aplicación de enmiendas en las dos primeras profundidades (Figura 6), aunque sin diferencias significativas. En la tercera profundidad, donde los contenidos de arcillas son mayores, el valor de porosidad del tratamiento control aumentó debido a que este tratamiento presenta una baja estabilidad de microagregados (Figura 7) y por ende fue el que sufrió mayor expansión, indicando un valor sobrestimado de porosidad (Figura 6). La mayor diferencia de masa seca-húmeda la mantienen los tratamientos con enmiendas (datos no mostrados) lo que indica un mayor dinamismo estructural frente a ciclos de humectación y secado (Semmel et al., 1990; Seguel y Horn, 2006)

En la Figura 7 se puede apreciar el efecto de los diferentes tratamientos en la relación de dispersión (RD). Por corresponder a una prueba dispersión, el menor valor indica mayor estabilidad de agregados. Existen diferencias estadísticamente significativas para el segundo y tercer horizonte de medición, pudiendo apreciarse que el tratamiento con mejor desempeño es el con aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno, presentando los valores más bajos de RD. Estos resultados son similares a los obtenidos por Volikov et al. (2016) quienes concluyeron que la aplicación de sustancias húmicas mejora la estabilidad de agregados, tanto a los 3 como a los 12 meses desde su aplicación al suelo, aunque con un mayor impacto a los 3 meses, según lo observado por Seguel y Vargas (2013).

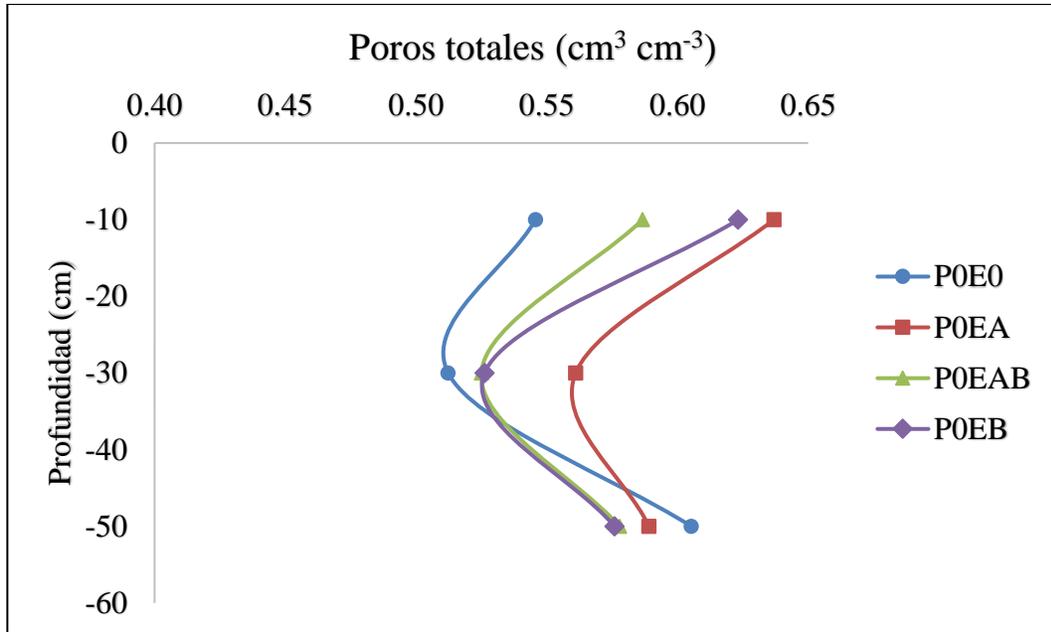


Figura 6. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la porosidad total, para las tres profundidades analizadas en abril de 2018.

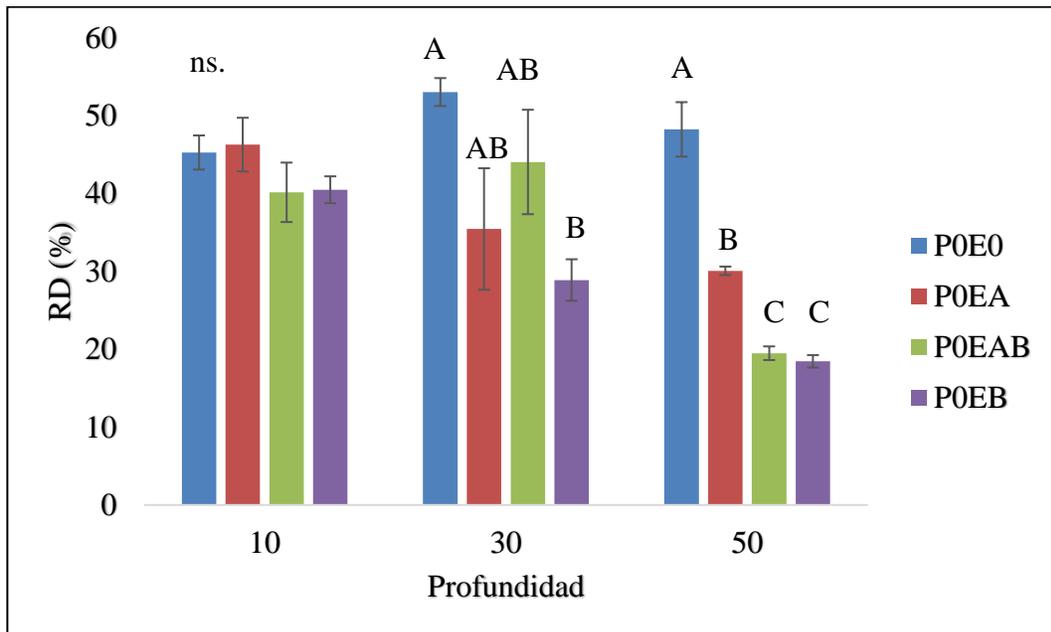


Figura 7. Efecto de los diferentes tratamientos de enmiendas sobre la relación de dispersión (menor valor denota mayor estabilidad), para las tres profundidades analizadas en abril de 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma profundidad ($p < 0,05$).

La estabilidad de agregados permite evaluar la susceptibilidad de los suelos a la erosión o a la formación de costras, además de tener una relación directa con la persistencia de la porosidad en el tiempo (Peyton et al. 2017) cuando el suelo es sometido a los agentes ambientales, principalmente bajo la acción del agua. En un suelo con altos contenidos de arcilla, las enmiendas generan una mayor estabilidad de agregados, lo que puede deberse a una mayor actividad biológica y mayor crecimiento radical, que permitieron la interacción órgano-mineral y así una mayor estabilidad de los agregados (Oades, 1993). En este sentido el efecto en profundidad dependió del enraizamiento que se promovió en la vid a causa del corte de riego, donde la acción conjunta con enmiendas orgánicas favoreció la exploración en profundidad respecto a la condición inicial del ensayo, lo que fue observado en terreno a lo largo de los diferentes muestreos. Al respecto, Trükmann et al. (2009) observó que el enraizamiento no es efectivo en profundidad cuando se mantiene el riego en condiciones óptimas, pero las restricciones hídricas provocan crecimiento radical en profundidad con resultados positivos en la estructura.

VARIABLES ECOFISIOLÓGICAS

En la Figura 8A se muestran los datos del potencial hídrico de suelo para la temporada 2017, para el cual no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Se podría esperar que existieran diferencias para este parámetro, ya que en los tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas se generaron diferencias en la matriz porosa del suelo; sin embargo, estos cambios en la porosidad pudieron formarse gradualmente durante la temporada, por lo que podrían no estar ejerciendo un efecto inmediato al momento de generar el estrés.

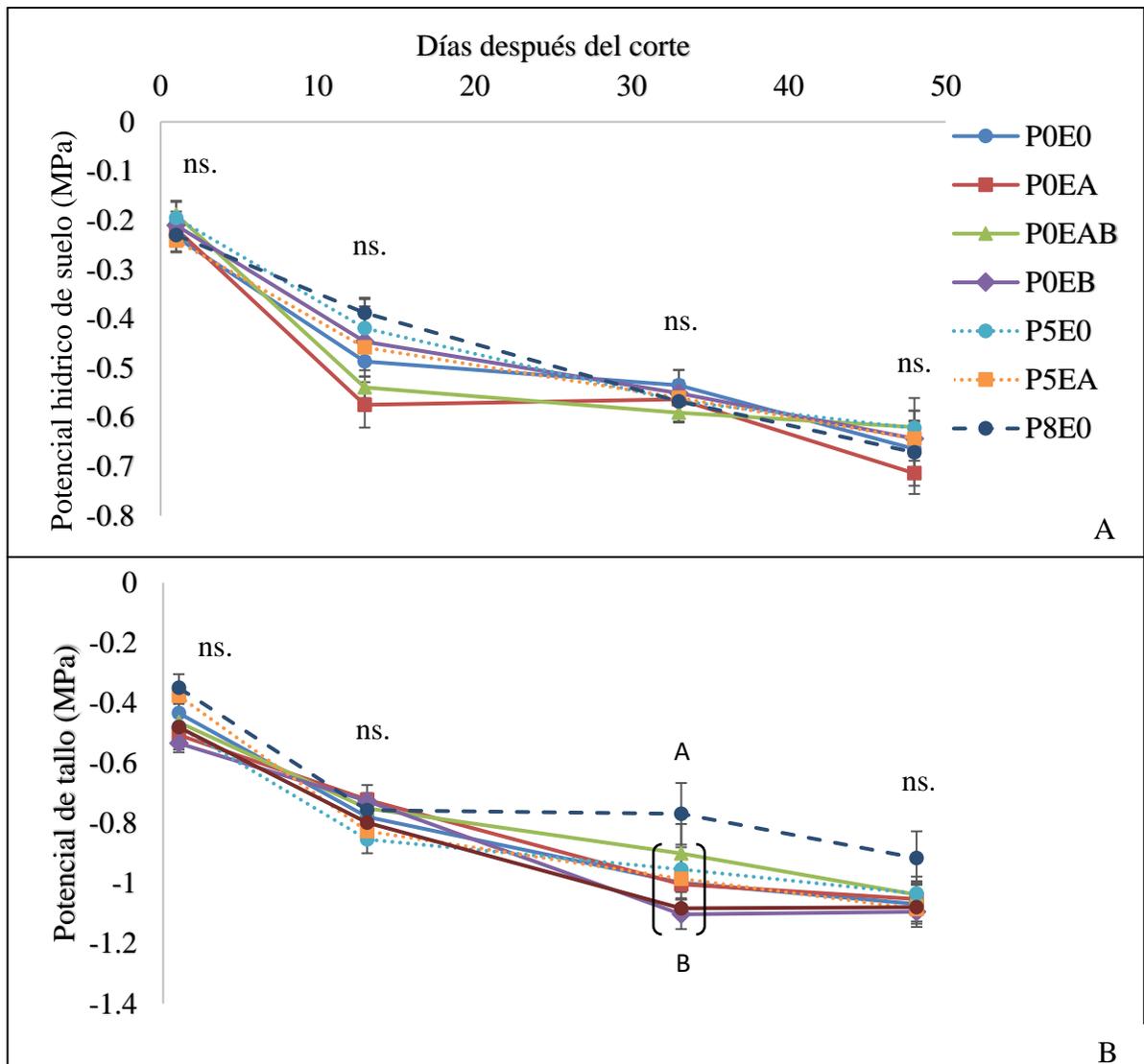
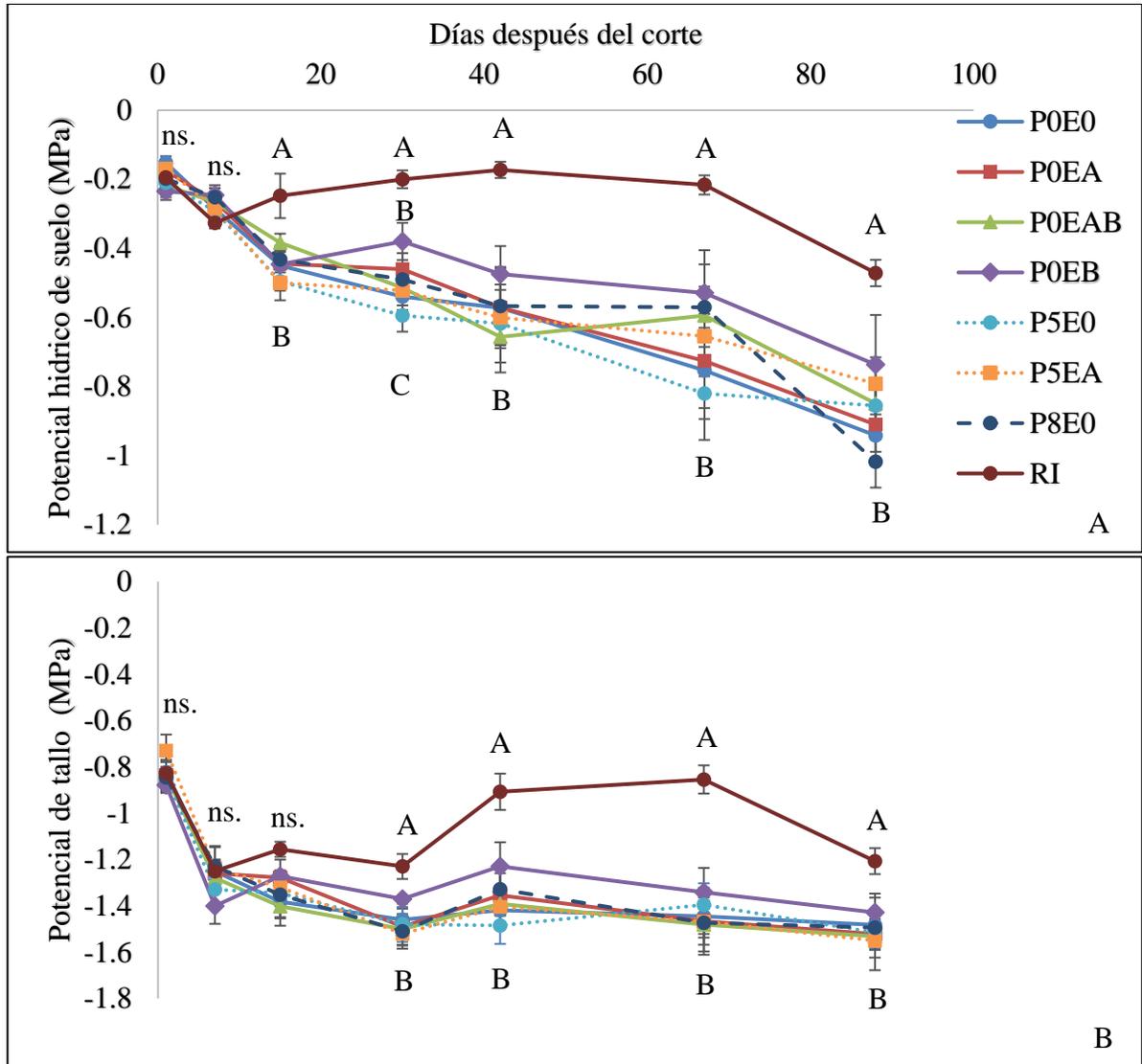


Figura 8. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el potencial hídrico de suelo (A) y potencial de tallo (B) después de un corte de riego durante la temporada 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p < 0,05$).

En la Figura 8B se muestran los datos de potencial de brote medido en medio día solar durante la temporada 2017. Se aprecia que 33 días después del corte del riego (13 de abril) el tratamiento con 80% de poda presenta mayores valores, con diferencias estadísticamente significativas con los demás tratamientos, lo que indica un menor nivel de estrés por parte de la planta. Esto se puede deber a una menor demanda de agua por parte de esta, al tener menor follaje activo transpirante, resultado similar al obtenido por Rivera (2015) en un ensayo en uva de mesa variedad Red Globe sometido a déficit hídrico tardío, registrando valores cercanos a $-0,4$ MPa en un tratamiento podado y $-0,8$ MPa en el tratamiento sin podar. En el presente ensayo los potenciales llegaron a niveles menores, alcanzando niveles de estrés de moderado a severo (Van Leeuwen et al., 2009).

Los resultados de potencial hídrico de suelo durante la temporada 2018 se muestran en la Figura 9A. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el tratamiento con aplicación de bacterias nitrificantes (P0EB) 30 días después del corte del riego, lo que podría ser una respuesta al aumento de la matriz porosa del suelo, con mayor contenido de agua aprovechable (Figura 5B). Para la última medición, la caída hacia un potencial tan negativo del tratamiento con 80% de poda (P8E0) se puede deber a que las plantas con dicho tratamiento entraron en receso antes, por lo que para esa fecha podría existir una discontinuidad hidráulica. Así, el potencial de hoja medido en pre alba podría no estar representando el potencial hídrico del suelo.

En la Figura 9B se muestran los resultados del potencial de brote a medio día solar (año 2018). No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos sin riego, pero se alcanzan mayores niveles de estrés en relación a la primera temporada, dada la mayor duración del estrés. Resultados similares fueron informados por Munizaga (2019), quien trabajó en un viñedo de variedad Red Globe, aplicando secado parcial de raíces en un suelo arcilloso y encontrando valores de potencial de brote cercanos a $-1,6$ MPa.



En la Figura 10 se muestran los resultados del intercambio gaseoso medido durante la temporada 2017. Se aprecia que la asimilación neta, la conductancia estomática y la transpiración, tienen un comportamiento similar entre sí, acorde al incremento del estrés hídrico por el secado del suelo. Para el caso de la asimilación y conductancia, se encontraron diferencias estadísticamente significativas solo para la primera fecha, destacando el tratamiento P5EA como el de mejor condición (Figuras 10A y 10B). En el caso de la transpiración hay diferencias estadísticamente significativas para los días 1 y 13 después del corte del riego, destacando los tratamientos P5E0 y P0EB como los de peor desempeño (Figura 10C).

Las variables relacionadas con el intercambio gaseoso para el año 2018 se muestran en la Figura 11. Allí, se aprecia que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la asimilación neta entre los tratamientos no regados (Figura 11A), los que se diferenciaron del control regado desde el día 40 al 70 de iniciado el corte de riego. Para el caso de la conductancia y la transpiración, 30 días después del corte del riego, el tratamiento con 80% de poda (P8E0) se comportó similar al tratamiento regado (RI). Llama la atención que, en la última fecha de medición, los valores de asimilación, conductancia estomática y transpiración son muy similares para todos los tratamientos, incluido el control regado. Esto se podría atribuir a una menor demanda de asimilados por parte de los frutos (sumideros), ya que la planta fue cosechada el día 5 de marzo (49 días después del corte de riego). Esta condición estimularía una menor actividad fotosintética y captura de CO₂ desde la atmósfera en las hojas (fuentes) (Quereix *et al.*, 2001; Iglesias *et al.*, 2002), provocando una fuerte caída en las variables fisiológicas.

Los tratamientos no regados se empiezan a diferenciar estadísticamente del regado en diferentes fechas y con distintos comportamientos. La primera diferencia se aprecia a nivel del potencial hídrico de suelo y la transpiración, con diferencias a partir del día 15 después del corte de riego. Luego, el potencial de tallo y la conductancia estomática registran diferencias a partir de los 30 días después del corte de riego. Finalmente, la asimilación neta se diferencia del control regado desde los 42 días después del corte de riego.

Resulta difícil generalizar un patrón común de respuesta de las plantas al déficit hídrico, ya que esta depende de la duración e intensidad de dicho déficit y de las particularidades de las distintas especies y variedades, que incluyen modificaciones morfológicas, fisiológicas y de ciclo de vida constitutivas de la especie (adaptaciones), desarrolladas como respuestas a largo plazo (aclimatación) y a corto plazo (regulación). Sin embargo, está demostrado que una respuesta temprana frente al déficit hídrico es el cierre estomático (Flexas *et al.*, 2002), reduciendo la pérdida de agua por parte de la planta e induciendo una restricción en la tasa de asimilación de CO₂. En el presente estudio, la transpiración se vio afectada rápidamente producto de la imposición del déficit hídrico, a los 15 días después del corte, mientras que la asimilación neta tuvo esas diferencias recién a los 42 días después del corte. Esto sugiere que el cierre estomático limita más la transpiración que la fotosíntesis, de manera que el cierre progresivo resulta en incrementos de la eficiencia en el uso del agua (Sánchez-Díaz y Aguirreolea 2008).

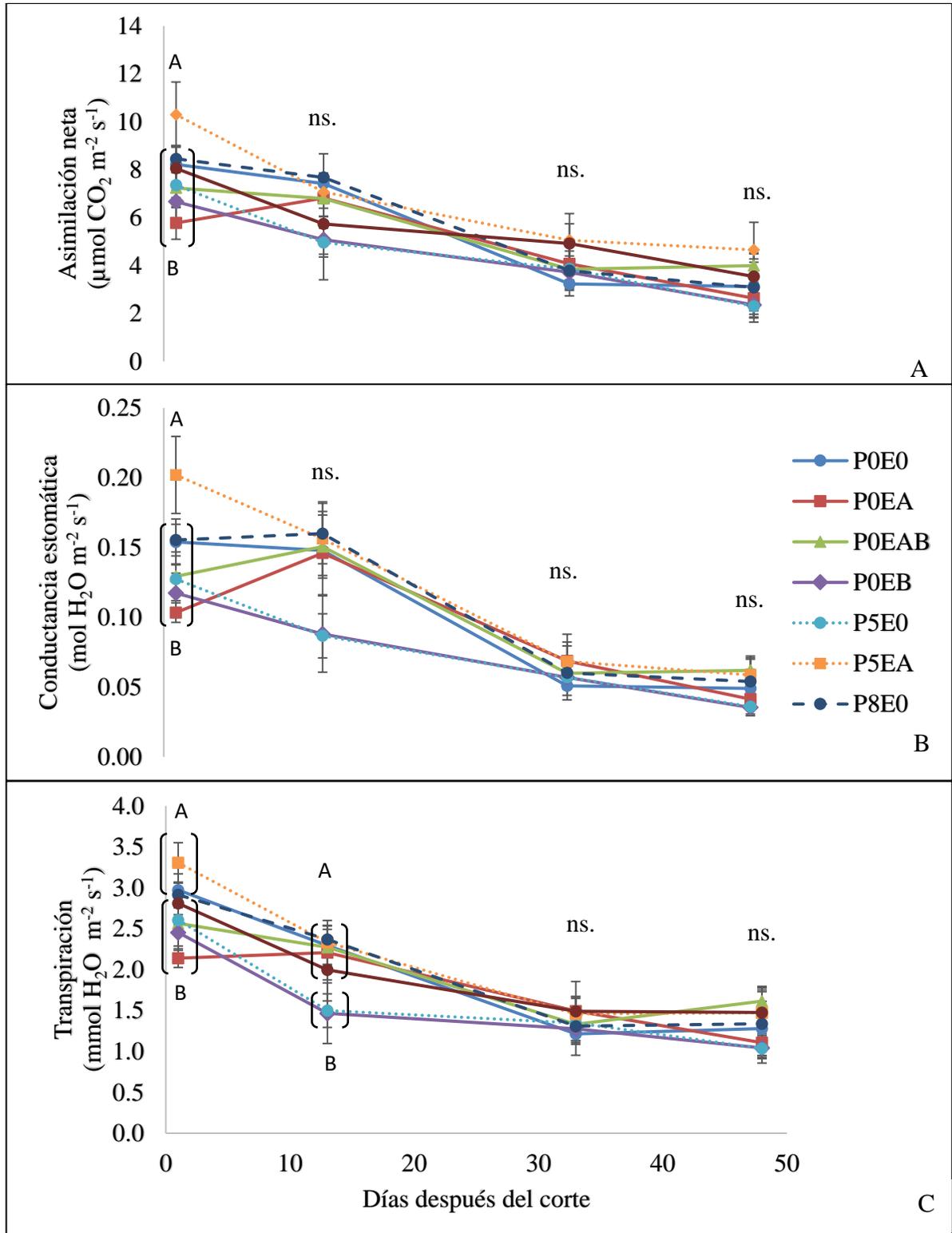


Figura 10. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la asimilación neta (A), conductancia estomática (B) y transpiración (C) después de un corte de riego durante la temporada 2017. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p < 0,05$).

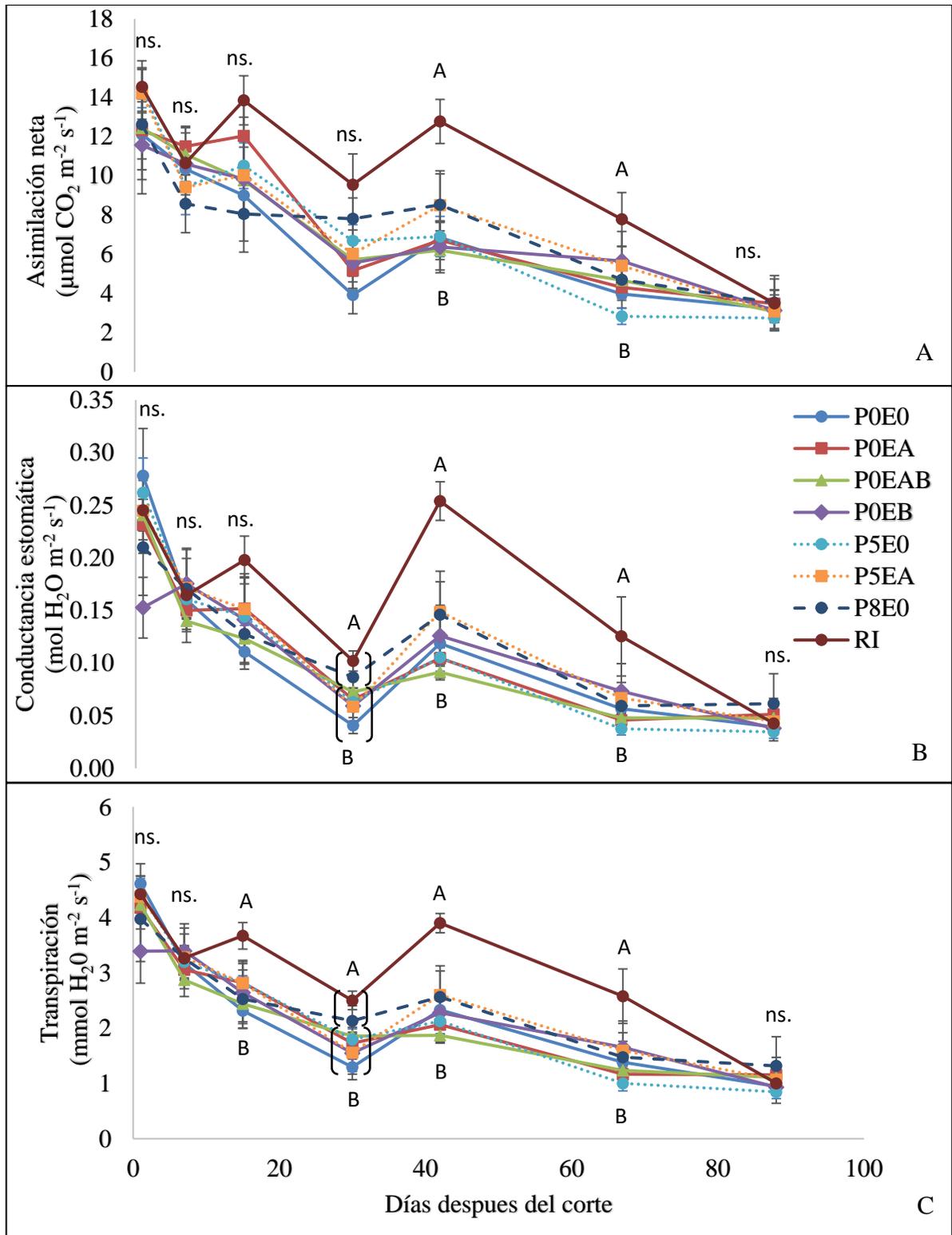


Figura 11. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la asimilación neta (A), conductancia estomática (B) y transpiración (C) después de un corte de riego durante la temporada 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en una misma fecha de medición ($p < 0,05$).

La conductancia estomática no disminuyó a valores inferiores a $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por lo que las plantas fueron sometidas a un estrés hídrico moderado (Flexas et al., 2002; Medrano et al., 2002). Este comportamiento llevó a una reducción de la asimilación neta, con un aumento de la EUA_i , aunque con excepciones. La actividad de la enzima Rubisco no se debería ver afectada bajo estas condiciones (Maroco et al., 2002; Bota et al., 2004), por lo que las limitaciones estomáticas parecieran ser las dominantes en la reducción de la fotosíntesis, la que se debería revertir rápidamente al reponerse el riego (Flexas et al., 2004), no obstante, las limitaciones no estomáticas estarían comenzando a operar (Naor et al., 1994; Maroco et al., 2002).

El intercambio gaseoso de la canopia está condicionado por muchos factores ambientales y fisiológicos, como la intensidad luminosa, la temperatura, el déficit de presión de vapor de agua y la edad de la hoja, entre otros (Zufferey et al., 2000; FAO, 2012). Para este estudio, los factores climáticos fueron más influyentes que el agua en el suelo (Apéndice 1 y 2), por eso, al comparar los datos de intercambio gaseoso (Figura 11) con el de las variables climáticas del día de la medición (Figura 2B), ambas están íntimamente relacionadas.

En primer término, se aprecia que los mayores niveles de intercambio gaseoso están relacionados a los días menos estresantes o con menores demandas atmosféricas, posiblemente debido a que los estomas están completamente abiertos temprano en la mañana, así como en aquellos días en que el déficit de presión de vapor es bajo, resultando en una mayor asimilación de carbono y baja tasa de transpiración (FAO, 2012). En condiciones de baja demanda evapotranspirativa, especialmente durante la mañana, las plantas se encuentran en situaciones de relativo bajo nivel de estrés, manteniendo una conductancia estomática superior que en días de mayor demanda. En este último caso, ocurre una condición adversa acumulativa hacia medio día, induciéndose un cierre estomático y reduciendo la fotosíntesis neta y la transpiración (Bellvert et al., 2016), lo que se ha visto en vides incluso bien regadas (Iacono y Sommer, 1996). El día de mayor demanda evapotranspirativa, el tratamiento con 80% de poda (P8E0) se comportó igual estadísticamente que el tratamiento regado (RI) a nivel de conductancia estomática y transpiración, mostrando la importancia de las condiciones ambientales a lo largo del día (Figura 11).

En la Figura 12 se puede ver la evolución del parámetro F_v/F_m durante las temporadas 2017 y 2018. En ambas temporadas no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas de medición. Al presentar valores mayores a 0,65, se puede concluir que el nivel de estrés al cual llegaron las plantas no fue tan perjudicial como para dañar el aparato fotosintético de estas, por lo que estas plantas frente a una rehidratación o un riego deberían recuperarse sin problemas (Rohaček, 2002)

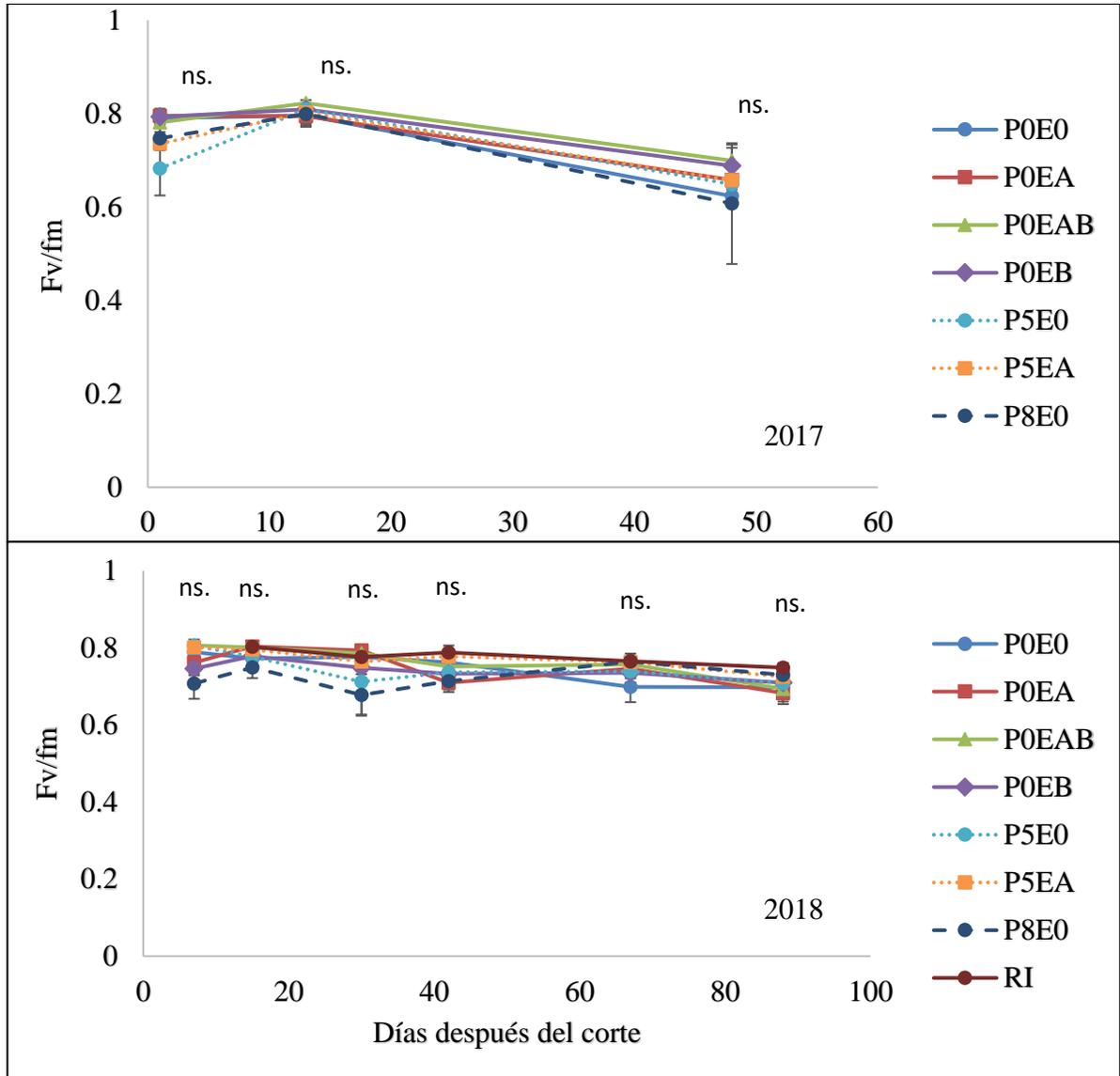


Figura 12. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la fluorescencia de las clorofilas durante la temporada 2017 (arriba) y 2018 (abajo).

En diversas investigaciones en Vid, se comprobó que el funcionamiento del aparato fotosintético tiene una alta estabilidad frente a diferentes condiciones ambientales (Gamon y Pearcy 1990; Chaumont *et al.* 1995; González *et al.*, 2008). El cierre estomático se convierte en una de las primeras y más importantes respuestas de la planta cuando está sometida a condiciones de estrés abiótico, especialmente altas temperaturas y restricción de riego. Sin embargo, el cierre estomático conlleva una disminución de la fijación de CO₂, que bajo condiciones de alta luminosidad puede generar sobreexcitación de los centros de reacción del fotosistema II (PSII) (Ahmed *et al.*, 2009) y la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales pueden dañar tejidos e inactivar sus funciones (Ghobadi *et al.*, 2013). Para evitar la sobreexcitación del PSII y los daños del aparato fotosintético, la energía que no toma la vía fotoquímica puede ser disipada principalmente como calor y en menor

grado reemitida como energía luminosa de menor energía (fluorescencia), por lo que la fluorescencia puede emplearse como una herramienta para obtener información acerca del estado fisiológico del aparato fotosintético, y la respuesta será indicadora del daño o alteración en el mismo (González *et al.*, 2008)

Complementariamente, la relación F_v/F_m es una estimación de la eficiencia cuántica máxima de la actividad fotoquímica del PSII cuando todos los centros de reacción del PSII están abiertos (Baker y Rosenqvist, 2004). Teniendo en cuenta que una disminución en la relación F_v/F_m indica una reducción en la eficiencia fotoquímica del PSII y una perturbación o daños en el aparato fotosintético (Percival y Fraser, 2001; Glynn *et al.*, 2003), se puede concluir que los tratamientos bajo sequía, al no diferenciarse del control regado, no evidencian daños severos por el estrés hídrico, estando en condiciones de recuperarse una vez que se reponga el agua.

Cosecha

En la Figura 13A se puede ver el efecto de los diferentes tratamientos sobre el rendimiento, en el que se aprecia que el tratamiento con el mayor peso de fruta por planta es el regado. Los demás tratamientos; con excepción de aquel con 80% de poda, no presentan diferencias significativas entre sí, mientras que P8E0 presenta el menor peso de fruta por planta. En la Figura 13B se muestran los datos de sólidos solubles, sin diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Así mismo, la acidez titulable no presentó diferencias estadísticamente significativas, variando en el rango de 0,43 a 0,48 g L⁻¹ incluido el tratamiento con riego. Se podía esperar que esta variable se viera afectada por la mayor temperatura de las bayas en los tratamientos podados, pero este parámetro se mantuvo constante en los diferentes tratamientos.

El tratamiento con 80% de poda, por su parte, presenta el menor rendimiento, lo que se puede deber a una deshidratación de algunos racimos y/o bayas al ser expuestas a una defoliación excesiva. Dicho tratamiento presenta una mejor condición de planta, ya que al tener menor follaje transpirando, el agua se agota más lentamente (Apéndice 2), por lo que la planta se mantiene con mayores tasas de transpiración, con un menor cierre estomático. Además, las plantas sometidas a ese tratamiento logran que las bayas lleguen a obtener la maduración, sin diferencias en sólidos solubles ni en acidez respecto de los tratamientos restantes.

En conclusión, las enmiendas orgánicas generan mejoras en las propiedades físicas del suelo que apuntan a un mejor enraizamiento del cultivo y un mayor nivel de agua aprovechable, lo que genera un menor estrés hídrico 30 días después del corte del riego; por otra parte, la poda intensa (80%) es efectiva en reducir el consumo de agua, pero generando un menor rendimiento. Resulta necesario seguir estudiando la recuperación de la plantas en las temporadas posteriores.

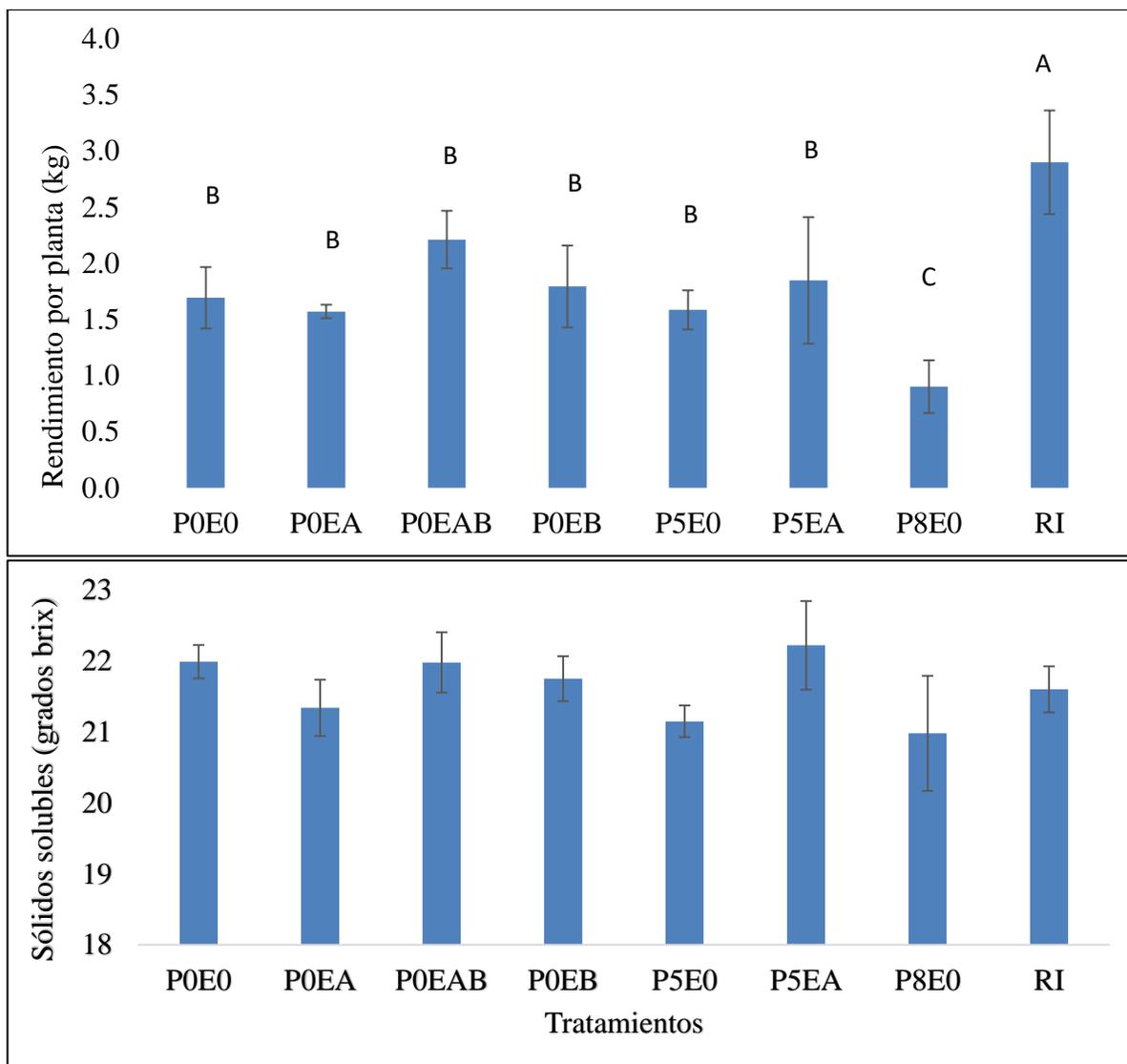


Figura 13. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el rendimiento (arriba) y sólidos solubles (abajo) para la cosecha de la temporada 2018. Letras distintas denotan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

Las enmiendas orgánicas aplicadas al suelo causaron una disminución de la densidad aparente, lo que conlleva un aumento de la porosidad total; también generaron un aumento de los poros de agua útil y una mayor estabilidad de microagregados. El tratamiento con una mejor condición física durante el ensayo es el con aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno, generando plantas con un mayor potencial hídrico de suelo 30 días después del corte de riego durante la temporada 2018.

La poda fue efectiva en reducir la interceptación de radiación, sin diferencias estadísticamente significativas entre las intensidades de poda. El tratamiento con aplicación de chapoda al 80% presenta los mayores valores de potencial hídrico de brote 33 días después del corte del riego durante la temporada 2017 y los mayores valores en transpiración y conductancia estomática 30 días después del corte durante la temporada 2018, igualándose con el control regado.

El tratamiento regado genera el mayor rendimiento, con 2,9 kg por planta, en comparación con el del tratamiento con 80% de poda, que genera 0,9 kg siendo el con menor rendimiento por planta. Aun así, este tratamiento presenta una mejor condición de planta, por lo que esta se mantiene con mayores tasas de transpiración, con un menor cierre estomático. Además, logra que las bayas lleguen a obtener la maduración, no teniendo diferencias en sólidos solubles ni en acidez al igual que todos los tratamientos sin riego. Sin embargo, ningún tratamiento tuvo diferencias en la fluorescencia de las clorofilas con respecto al control regado, lo que indica que a pesar de la intensidad de la sequía aplicada no se generan daños severos al aparato fotosintético de la vid.

En este estudio, la transpiración se vio afectada rápidamente, con diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos sin riego y el tratamiento regado, a los 15 días después del corte del riego; por su parte, la asimilación neta tuvo esas diferencias recién a los 42 días después del corte. Esto indica que el cierre estomático limita más la transpiración que la fotosíntesis, de manera que el cierre progresivo resulta en incrementos de la eficiencia en el uso del agua. Las plantas fueron sometidas a un estrés hídrico moderado, por lo que las limitaciones estomáticas parecen dominantes y la fotosíntesis se debería revertir rápidamente al reponerse el riego.

LITERATURA CITADA

- Abiven, S., S. Menasseri and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 1-12.
- Ahmed, C., B. Rouina, S. Sensoy, M. Boukhris and F. Abdallah. 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 67: 345-352.
- Annabi, M., S. Houot, F. Francou, M. Poitrenaud and Y. Le Bissonnais. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society America Journal*, 71: 413-423.
- Baker, N. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1607-1621.
- Bauer, A. and Black, A.L. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Journal of Soil Science*, 5: 185–193.
- Bellvert, J., P. Zarco-Tejada, J. Marsal, J. Girona, V. González-Dugo and E. Fereres. 2016. Vineyard irrigation scheduling based on airborne thermal imagery and water potential thresholds. *Australian Society of Viticulture and Oenology*, 22: 307-315.
- Berryman, C., D. Davies, C. Evans, M. Harrod, A. Hughes, R. Skinner, R. Swain and D. Soane. 1982. Techniques for measuring soil physical properties. Formerly Advisory Paper nº18. Reference Book 441. Swedish. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 116 p.
- Bota, J., H. Medrano and J. Flexas. 2004. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? *New Phytologist*, 162: 671-681.
- Casanova, M.; O. Salazar; O. Seguel and W. Luzio. 2012. The Soils of Chile. (Hartemik, A. ed.). The Netherlands: Springer. 183 p.
- Chaumont M., J. Morot-Gaudry and C. Foyer. 1995. Effects of photoinhibitory treatment on CO₂ assimilation, the quantum yield of CO₂ assimilation, D1 protein, ascorbate, glutathione and xanthophyll contents and the electron transport in vine leaves. *Plant, Cell and Environment*, 18: 1358–1366.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales), Chile. 2005. Estudio agrológico IV Región: Descripción de suelos, materiales y símbolos. Santiago, Chile. 292 p.
- Cochard, H., L. Coll, X. Le Roux and T. Améglio. 2002. Unraveling the effects of plants hydraulics on stomal closure during water stress in walnut. *Plant Physiology*, 128: 282-290.
- Cuevas, J., O. Seguel, A. Ellies y J. Dörner. 2006. Efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6: 1-12.
- Ellies, A., C. Ramírez and R. Mac Donald. 2005. Organic matter and wetting capacity distribución in aggregates of chilean soils. *Catena*, 59: 69-79.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. 1st ed. 80 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. Crop yield response to water. 1st ed. 550 p.
- Fernández, M. E. y J. Gyenge. 2010. Técnicas de medición en ecofisiología vegetal. 1^a ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. 140 p.

- Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic, T. Sharkey. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6: 1-11.
- Flexas, J., J. Bota, J. Escalona, B. Sampol, H. Medrano. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology*, 29: 461-471.
- Franck, N. y V. Muñoz-Aravena. 2014. Frutales para zonas áridas y semiáridas. 1ª ed. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 224 p.
- Gamon, J. and R. Pearcy. 1990. Photoinhibition in *Vitis californica*: interactive effects of sunlight, temperature and water status. *Plant Cell Environment*, 13: 267-275.
- Ghobadi, M., S. Taherabadi, M. Ghobadi, G. Mohammadi and S. Jalali-Honarmand. 2013. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Product*, 50: 29-38.
- Glynn, P., C. Fraser and A. Gillian. 2003. Foliar salt tolerance of *Acer* genotypes using chlorophyll fluorescence. *Journal Arboriculture*, 29: 61-65.
- González, M., H. Perales y M. Salcedo. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*, 27: 119-129.
- Hartge, K. und R. Horn. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis, Messmethoden, Auswertung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany. 178 p.
- Hueso, S., T. Hernández and C. García. 2011. Resistance and resilience of the soil microbial biomass to severe drought in semiarid soils: The importance of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 50: 27-36.
- Hueso, S., G. Brunetti, N. Senesi, K. Farrag, T. Hernández and C. Garcia. 2012. Semiarid soils submitted to severe drought stress: influence on humic acid characteristics in organic-amended soils. *Journal Soils Sediments*, 12: 503-512.
- Iacono F. and K. Sommer. 1996. Photoinhibition of photosynthesis in *Vitis vinifera* under field conditions: effects of light climate and leaf position. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2: 10-20.
- Iglesias, D., I. Lliso, F. Tadeo and M. Talon. 2002. Regulation of photosynthesis through source: sink imbalance in citrus is mediated by carbohydrate content in leaves. *Physiologia Plantarum* 116: 563-572.
- IPCC-WGII (Intergovernmental Panel on Climate Change-Working Group II). 2007. Climate change 2007. 4to reporte. 18p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. 1st report. University of Cambridge, USA. 1819 p.
- Jimenez-Casas, M. and J. Zwiazek. 2013. Effects of branch pruning and seedling size on total transpiration and tissue Na and Cl accumulation in *Pinus leiophylla* seedlings exposed to salinity. *Forest Science*, 59: 407-415.
- Lal, R. and M. Shukla. 2004. Principles of soil physics. USA. Marcel Dekker. 682p.
- Maroco, J., M. Rodrigues, C. Lopes and M. Chaves. 2002. Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought- metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Biology*, 29: 451-459.
- Medina, A. and R. Azcón. 2010. Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*, 10 (3): 354-372.

- Medrano, H., J. Escalona; J. Bota, J. Gulías and J. Flexas. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89: 895-905.
- Munizaga, S. 2019. Efecto del déficit hídrico mediante desecamiento parcial de raíces en vid variedad Red Globe sobre el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 40 p.
- Naderi-Boldaji, M. and T. Keller. 2016. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil and Tillage Research*, 159: 41-46.
- Naor, A., B. Bravdo and J. Gelobter. 1994. Gas exchange and water relations in field-grown Sauvignon blanc grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45: 423-428.
- Nicholls, C., M. Altieri, A. Henao, R. Montalva y E. Talavera. 2015. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. 1ª ed. Lima, Perú. 59 p.
- Oades, J. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56: 377-400.
- ODEPA. (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2015a. Información regional 2015 Región de Coquimbo. Santiago, Chile: ODEPA. 17 p.
- ODEPA. (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2015b. Catastro frutícola Región de Coquimbo. Santiago, Chile: ODEPA. 45 p.
- Papadopoulos, A., N. Bird, A. Whitmore and S. Mooney. 2014. Does organic management lead to enhanced soil physical quality? *Geoderma*. 213: 435-443.
- Pascual, I., M. C. Antolin, C. García, A. Polo and M. Sánchez-Díaz. 2007. Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions. *Technology*, 98: 29-37.
- Percival, G. and S. Fraser. 2001. Measurement of the salinity and freezing tolerance of *Crataegus* genotypes using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture*, 27(5): 233-245.
- Pereyra M. and A. Quiriban. 2014. Proteins in water stress tolerance in plants. *Semiárida*, 24 (1): 55-67.
- Perrone I., G. Gambino, W. Chitarra, M. Vitali, C. Pagliarani and N. Riccomagno. 2012. The grapevine root-specific aquaporin VvPIP2;4N controls root hydraulic conductance and leaf gas exchange under well-watered conditions but not under water stress. *Plant Physiology*, 160: 965-977.
- Peyton, A. B. Bond-Lamberty, B. Benscoter, M. Tfaily, C. Hinkle, C. Liu and V. Bailey. 2017. Shifts in pore connectivity from precipitation versus groundwater rewetting increases soil carbon loss after drought. *Nature Communications*, 8: 13-55.
- Pszczolkowski, P. y C. Ceppi de Lecco. 2011. Manual de vinificación. 1ª ed. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 122p.
- Quereix, A., C. Deward, J. Gaudillere, S. Dayau and C. Valancogne. 2001. Sink feedback regulation of photosynthesis in vines: measurements and a model. *Journal of Experimental Botany*. 58 (365): 2313-2322.
- Ragab, R. and C. Prudhomme. 2002. Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosystems Engineering*, 81: 3-34.
- Rohaček, K. 2002. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. *Photosynthetica*, 40(1): 13-29.

- Rivera, F. 2015. Evaluación de la respuesta de plantas de *Vitis vinifera* L. a enmiendas de suelos y defoliación en postcosecha bajo un estrés hídrico severo tardío. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 46 p.
- Sadras, O. 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. *Irrigation Science*, 27: 183-190.
- Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreolea. 2008. Transpiración y control estomático. Segunda edición. Madrid, España: McGRAW-HILL Interamericana. 667p.
- Sandoval, M., J. Döner, O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físico de suelos. Santiago, Chile. 75p.
- Santibáñez, F.; V. Santibáñez; C. Caroca; P. Morales; P. Gonzales; N. Gajardo; P. Perry y C. Melillán, 2014. Atlas del cambio climático en las zonas de régimen árido y semiárido: Regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 138 p.
- Seguel, O and R. Horn. 2006. Structure properties and pore dynamics in aggregate beds due to wetting-drying cycles. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169: 221-232.
- Seguel, O. y E. Marín. 2011. Mejoramiento de propiedades físicas del suelo mediante ácido húmico y rastrojo de trigo. *Red Agrícola*. 46: 12-13.
- Seguel, O. y D. Vargas. 2013. Efecto del uso de ácido húmico sobre las propiedades hidráulicas e hidrofobia del suelo. *Red Agrícola*. 54: 28-29.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J. I. Covarrubias, C. González and L. Poblete. 2013a. Physical properties of a fine textured haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(3): 690- 705.
- Seguel, O., N. Franck y J. Toro. 2013b. Efecto acumulado en el suelo de la aplicación de enmiendas húmicas en camellones con cítricos, Región de Coquimbo. *Revista Riego y Drenaje* 12 (5): 33 – 35.
- Semmel, H., R. Horn, U. Hell, K. Dexter, G. Osmond and E. Schulze. 1990. The dynamics of soil aggregate formation and the effect on soil physical properties. *Soil Technology*, 3: 113-129.
- Song Z., H. Gao, P. Zhu, C. Peng, A. Deng and C. Zheng. 2014. Organic amendments increase corn yield by enhancing soil resilience to climate change. *The Crop Journal*, 3: 110-117.
- Tejada, M., M. Hernández and C. García. 2007. Application of two organic wastes in a soil polluted by lead: effects on the soil enzymatic activities. *Journal Environmental Quality*, 36: 216–225.
- Trükmann, K., R. Horn and E. Reintam. 2009. Impact of roots on soil stabilisation in grassland. In: ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings. Izmir-Turkey. 8p.
- UNFPA (United Nations Fund for Population Activities). 2016. Estado de la población mundial. 112p.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1997. World Atlas of Desertification. Second Edition. Middleton, USA. 182 p.
- Uribe, J., R. Cabrera, A. de la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile. CORFO (Corporación de Fomento de la Producción). Ministerio de Bienes Nacionales. 229 p.
- USDA (United States Department of agricultura). 2008. Soil quality kit-guides for educators. 9p.

- Van Leeuwen C., O. Tregot, X. Chone, B. Bois, D. Pernet and J. Gaudillère. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine: how can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International Science Vigne Vin*, 43(3): 121-134.
- Volikov, A., V. Kholodov, N. Kulikova, O. Philippova, S. Ponomarenko, E. Lasareva and A. Parfyonova. 2016. Silanized humic substances act as hydrophobic modifiers of soil separates inducing formation of water-stable aggregates in soils. *Catena*. 137: 229-236.
- Zufferey, V., F. Murisier and R. Schultz. 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.

APÉNDICES

Apéndice 1. Contenido de agua en el suelo para los diferentes tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas, durante las 7 fechas de medición del año 2018.

