



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-307

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Desempeño morfo-fisiológico de plantas de olivillo (*Aextoxicon punctatum*) sometidas a restricción hídrica en función de la disponibilidad nutricional: Manejo en vivero orientado a la restauración.

González Ortega, M.¹, Acevedo Tapia, M.¹, Cartes Rodríguez E.¹, Alvarez Maldini, C.¹, Bannister Hepp J.², Kremer Ramírez K.²

¹ Instituto Forestal Sede Biobío, Concepción, Chile.

² Instituto Forestal Sede Los Ríos, Chiloé, Chile.

Resumen

Los ecosistemas mediterráneos de Chile presentan un grado alteración importante, lo que incide en el éxito del establecimiento de las especies con las que se quiera restaurar dicho ecosistema. Factores tales, como exceso de luminosidad y disponibilidad hídrica reducida afectan dicho establecimiento. El objetivo fue determinar el efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre el desempeño morfo-fisiológico en plantas de olivillo sometidas a restricción hídrica. Se utilizaron plantas de una temporada de viverización establecidas en macetas; un grupo fue fertilizado con nitrógeno durante tres meses, mientras que otro grupo no se fertilizó. Posteriormente, ambos grupos fueron sometidos a tres etapas: restricción hídrica, mantención de restricción hídrica e hidratación, con los controles regados al 75% de agua de retención. Al final de cada etapa se evaluó el contenido de humedad del sustrato, la eficiencia cuántica máxima del PSII (Fv/Fm), biomasa, concentraciones nutricionales y carbohidratos solubles totales. Los resultados muestran que los valores de Fv/Fm, posterior a la restricción hídrica son diferenciales en función de la disponibilidad de nitrógeno. El aumento en la disponibilidad de nitrógeno, eleva los niveles internos de nitrógeno en la planta, los que se condice con aumentos en los carbohidratos solubles totales durante la restricción hídrica. Se concluye que una carga nutricional, antes del inicio del déficit hídrico, permitiría elevar el nivel nutricional de las plantas, generando un mejor desempeño, en términos de biomasa, carbohidratos solubles totales y recuperación de valores de Fv/Fm frente a una restricción hídrica estival.

Palabras Clave

Viverización, fertilización, fluorescencia de la clorofila, carbohidratos totales solubles.

1. Introducción

Aextoxicon punctatum (Ruiz et Pavon) es una especie endémica del bosque templado de Chile y Argentina. Es un árbol siempreverde perteneciente a la familia monotípica, *Aextoxicaceae*. Se encuentra en los Tipos Forestales; Esclerófilo, Roble-Hualo, Roble-Raulí-Coihue, Coihue-Raulí-Tepa, Ciprés de la Cordillera y frecuente en el Tipo Forestal Siempreverde (HOFFMANN 1998, DONOSO 2005). Desde la colonización europea, sus poblaciones han sufrido una reducción importante, debido a un alto grado de alteración antrópica por encontrarse en zonas bajas sometidas a intenso uso agropecuario y forestal. Actualmente, su distribución se encuentra muy fragmentada, con la excepción de algunos tramos de la Cordillera de la Costa de la región de Los Ríos, donde aún existen grandes parches continuos de *A. punctatum* (SMITH-RAMÍREZ *et al.* 2005). Dada la alta fragmentación que presenta la especie en diversos ecosistemas con algún grado de alteración, es prioritario conocer técnicas que permitan reincorporarla en esos sitios.

El estrés hídrico es uno de los factores más limitantes del crecimiento, la composición y distribución de las especies que se desarrollan en climas mediterráneos (CHAVES *et al.* 2002, OTIENO *et al.* 2005). Diversas características ambientales, genéticas y de manejo afectan la fisiología hídrica de las plantas. Al respecto producir plantas acondicionadas a climas mediterráneos permitiría mejorar el desempeño de ellas en campo.

En plantas sometidas a condiciones de déficit hídrico se ha documentado una disminución

en la relación biomasa aérea/biomasa radical, ocasionada por un mayor crecimiento del sistema radical (MCMILLIN & WAGNER 1995). Al respecto, en *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser, esta relación no fue afectada por la restricción hídrica, sin embargo, en *Quillaja saponaria* (Mol.) la relación disminuye, debido a la defoliación que la afecta y al incremento de la biomasa de raíces (DONOSO et al. 2011).

LUNA (2006), en plantas de *Q. saponaria*, observó una relación inversa entre el crecimiento individual y el déficit hídrico, concluyendo que las plantas sometidas a déficit hídrico experimentaron una mayor reducción en el crecimiento en longitud, diámetro a la altura del cuello, área de la hoja y biomasa total respecto a las plantas testigo.

En cuanto a los azúcares solubles, por su capacidad para generar potencial osmótico y estabilizar las membranas celulares, son acumulados en las células de la planta donde realizan funciones básicas en la tolerancia al frío (TINUS et al. 2000) y al estrés hídrico (PELAH et al. 2008), ambas propiedades fundamentales durante el establecimiento en condiciones de clima mediterráneo. Parecería por tanto de máximo interés obtener una planta mediterránea con niveles máximos de carbohidratos. La acumulación de reservas en plantas tiene lugar principalmente en el último período de la fase de crecimiento en vivero (DURYEA & MCCLAIN 1984), y se ve favorecida por aquellos tratamientos que estimulen el balance producción-consumo. Por ello, se ha observado en latifoliadas mediterráneas un descenso de la acumulación de carbohidratos con un aumento de la fertilización, ya que ésta promueve el crecimiento y, por tanto, la demanda de asimilados a expensas de las reservas (SANZ et al. 2004). Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con los nutrientes, los carbohidratos acumulados antes de la plantación sólo son determinantes durante el período de estrés post-trasplante, ya que una vez restablecida la actividad fotosintética, la planta puede producirlos de nuevo (OLIET et al. 2006).

Considerando las diversas respuestas de las plantas en términos morfo-fisiológicos cuando son expuestas a condiciones de restricción hídrica en vivero, la hipótesis planteada en este estudio dice relación con que “Plantas de olivillo establecidas bajo una condición de mayor disponibilidad nutricional tendrán un mejor desempeño durante la restricción hídrica que plantas con baja disponibilidad de nutrientes”.

2. Objetivos

Determinar el efecto de la disponibilidad nutricional sobre el desempeño morfo-fisiológico en plantas de olivillo (*Aextoxicon punctatum* Ruiz et Pavon) sometidas a restricción hídrica.

3. Metodología

Se utilizaron un total de 100 plantas de *A. punctatum* de una temporada de viverización producidas en el Centro Tecnológico de la Planta Forestal del Instituto Forestal, las que fueron establecidas en macetas plásticas de un volumen de 6 litros. Dichas plantas fueron seleccionadas por longitud de tallo, procurando homogeneidad en este atributo. El sustrato utilizado para las macetas, correspondió a compost de corteza de pino con una porosidad total 49,3%, porosidad de aireación 25,2% y de porosidad de retención 24,1%.

Por un periodo de dos meses en verano, la mitad de las macetas fueron fertilizadas con una solución nutritiva preparada a partir de sales, manejando los macroelementos según la metodología propuesta por LANDIS (1989). Las concentraciones usadas durante este periodo fueron, 400 mg L⁻¹ de Nitrógeno (30% NO₃; 70% NH₄), 60 mg L⁻¹ de Fósforo, 100 mg L⁻¹ de Potasio, 40 mg L⁻¹ de Magnesio, 60 mg L⁻¹ de Azufre y 80 mg L⁻¹ de Calcio. Para ello se preparó un volumen de solución de 200 L, para posteriormente ser aplicado con regadera a cada maceta, con un volumen de solución nutritiva de 2 L por maceta aproximadamente, la frecuencia de aplicación de la solución nutritiva fue intercalada a las labores de riego. Las macetas restantes, sólo fueron regadas en las mismas oportunidades que las fertilizadas. El riego durante este periodo fue manejado al 80% aproximadamente del agua disponible de la maceta.

Una vez finalizada la fertilización y previo a un riego a saturación se dio inicio al ensayo de restricción hídrica, el que estuvo compuesto por tres etapas: restricción hídrica (RH), mantención de restricción hídrica (MRH) e hidratación (H). Etapa RH: 25 de las 50 macetas que fueron fertilizadas (F1) durante la etapa anterior, fueron sometidas a una condición de alta disponibilidad de agua en suelo (regados al 75% de agua de retención, R1), mientras el resto se sometieron a restricción hídrica (R0), generando los tratamientos F1-R1 y F1-R0 respectivamente. De igual forma, se procedió para las plantas no fertilizadas (F0), generando los tratamientos F0-R1 y F0-R0, sin fertilización y regadas, y sin fertilización y sometidas a restricción hídrica, respectivamente. Con el objeto de determinar el nivel de estrés en las plantas sometidas a restricción hídrica, se utilizaron los valores de fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) como un indicador de la eficiencia del PSII. La restricción hídrica se mantuvo hasta lograr una disminución en los valores de Fv/Fm de las plantas. Etapa MRH: Una vez logrado ese contenido medio de agua en sustrato, día por medio se repuso la cantidad de agua pérdida durante ese periodo, a objeto de mantener el nivel de déficit hídrico en las macetas. Esta condición se mantuvo durante un mes. Etapa H: Una vez transcurrido dicho periodo, y con el objeto de observar su capacidad de recuperación, las plantas del tratamiento de restricción fueron hidratadas a saturación y mantenidas bajo esta condición durante un mes aproximadamente.

Al final de cada etapa se evaluó el contenido de humedad del sustrato, la eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm), biomasa, concentraciones nutricionales y carbohidratos solubles totales.

- Determinación de Eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm).

Mediante un fluorímetro (Plant Efficiency Analyzer, Hansatech) se realizaron determinaciones de fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm), en forma diaria en cada una de las macetas. Las evaluaciones se realizaron sobre la cara adaxial de tres hojas de cada planta. La aclimatación a la oscuridad fue de aproximadamente 30 minutos, la que se realizó con papel de aluminio, para posteriormente realizar la determinación a una intensidad de luz saturante no modulada de $2.400 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se evaluó el Fv/Fm en 36 hojas (3 hojas x 3 plantas x 2 fertilización x 2 riegos), midiendo las mismas plantas de seguimiento del contenido de humedad en maceta.

- Determinación de contenido volumétrico de agua.

Se evaluó el contenido volumétrico de humedad del sustrato ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), mediante el uso de un equipo TDR (HH2 Soilmoister meter, Delta-T Devices), día por medio, en 32 plantas (8 plantas x 2 fertilizaciones x 2 riegos). Dichas plantas correspondieron a las mismas de seguimientos de contenido de humedad relativo.

- Determinación de biomasa.

En cada instancia de medición, fueron seleccionadas de forma aleatoria 16 plantas (4 plantas x 2 fertilizaciones x 2 riegos) para la determinación de biomasa por componente (follaje-tallo-raíz). Previo a la separación de los componentes de la planta, tanto la longitud del tallo como el diámetro a la altura del cuello fueron registrados. Posteriormente, hojas, tallos y raíces fueron separados para ser secados en horno de ventilación forzada por 48 horas a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. La determinación de biomasa por componente se realizó con balanza digital AND GF-400 con precisión de $\pm 0,0001 \text{ g}$.

- Determinación de concentraciones nutricionales.

Al finalizar cada etapa del ensayo de restricción hídrica, se determinaron las concentraciones nutricionales de macro-elementos expresadas en términos porcentuales. Para ellos se utilizaron 12 plantas completas (3 plantas x 2 fertilizaciones x 2 riegos). Se siguieron los métodos de nitrógeno total mediante digestión Kjeldahl y determinación mediante método colorimétrico; para el fósforo mediante calcinación por vía seca, disolución en ácido clorhídrico 1N y determinación por método colorimétrico; en el caso del potasio mediante calcinación por vía seca, disolución con ácido clorhídrico 1N y determinación por espectrofotometría de emisión atómica; finalmente, para el calcio y el magnesio mediante calcinación por

vía seca, disolución en ácido clorhídrico 1N y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.

- Determinaciones de carbohidratos solubles totales.

Para el análisis se utilizó el método fenol-sulfúrico descrito por RÍOS (1985). El resultado fue expresado como mg g⁻¹. Para ello se colectaron 36 hojas (3 hojas x 3 plantas x 2 fertilizaciones x 2 riegos) en cada instancia de medición. Dichas hojas fueron congeladas en nitrógeno líquido (-196 °C) al momento de la colecta, para posteriormente ser congeladas a -80 °C, para su extracción y cuantificación.

- Análisis de datos.

El diseño fue un factorial completamente aleatorizado, con los factores fertilización y riego, cada uno con dos niveles. La unidad experimental estuvo constituida por la maceta con 8 réplicas. Análisis de varianza (ANOVA) y longitudinales con contrastes de medias fueron realizados utilizando un modelo lineal generalizado (GLM) de efectos fijos definidos por tratamiento, aplicando pruebas de comparación de medias, con un 95% de confianza. Previo análisis de homogeneidad de varianza (Levene, P<0,05) y normalidad residual (Shapiro-Wilks, P<0,05). Se realizaron ajustes para modelar la respuesta en Fv/Fm en función de contenido gravimétrico de las macetas, estos se efectuaron mediante regresión no lineal. El efecto de la fertilización sobre el modelo de regresión se evaluó mediante la prueba de suma extra de cuadrados principales realizada a través de la prueba F (BERGERUD 1991).

4. Resultados

- Respuesta de Fv/Fm en función del tratamiento de fertilización durante la restricción hídrica.

La respuesta en desempeño del PSII medido a través del Fv/Fm de las plantas de olivillo durante las etapas de restricción hídrica (Figura 1) muestra que, la disminución en el contenido gravimétrico de agua en el sustrato bajo el 40% induce una disminución en Fv/Fm (Figura 1 izquierda). No obstante, esta disminución es indistinta del tratamiento de fertilización previo que tuvieron las plantas de *A. punctatum*, siendo posible estimar un modelo general (P=0,361 de la prueba F). Posteriormente, durante las etapas de mantención de la restricción hídrica e hidratación, se observa que la recuperación de los valores de Fv/Fm es diferencial en función del tratamiento de fertilización. Las plantas fertilizadas recuperan los valores de Fv/Fm a niveles iguales a los medidos antes de la restricción hídrica, mientras el tratamiento sin fertilización lo hizo a valores más bajos durante las dos etapas (Figura 1 derecha), por lo que no es posible estimar en forma conjunta un modelo general (P=0,008 de la prueba F) debiendo realizarse en forma separada.

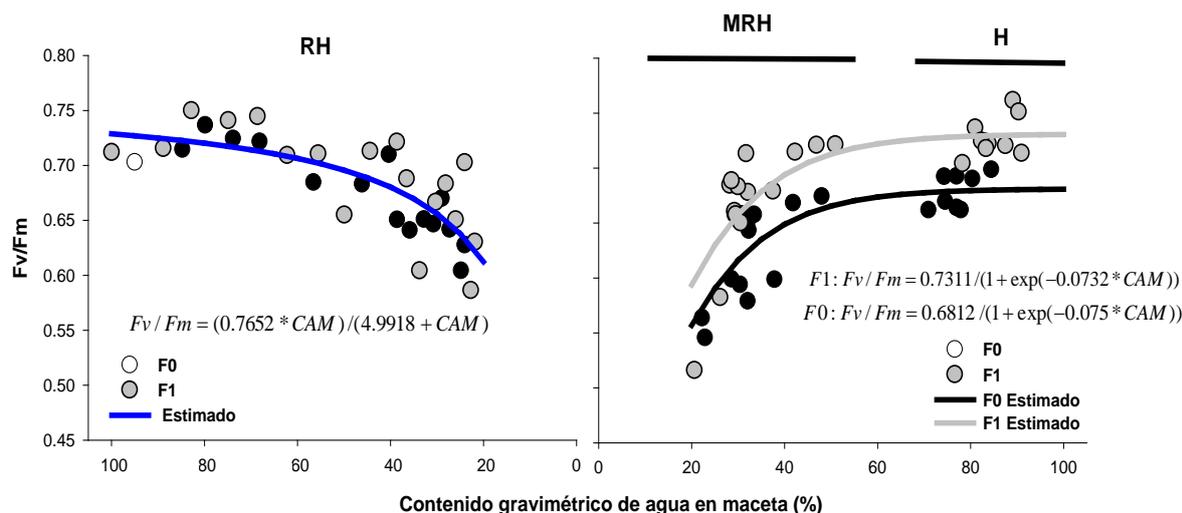


Figura 1. Dinámica de los valores de F_v/F_m en función del contenido gravimétrico de agua en las macetas durante las tres etapas del ensayo de restricción hídrica para plantas Fertilizadas (F1) y no fertilizadas (F0). RH: Etapa de restricción hídrica, MRH: Etapa de mantención de la restricción hídrica, H: Etapa de hidratación.

- Respuesta en biomasa durante el ensayo de restricción hídrica.

Como se observa en la Tabla 1 y Figura 2, al evaluar las componentes de biomasa frente a cada factor (fertilización, riego e interacción) al final de la etapa de restricción hídrica, se observa que todas las plantas fertilizadas, independientemente de si estuvieron o no sometidas a restricción hídrica, presentan valores de biomasa total significativamente superiores que aquellas plantas no fertilizadas. En la misma etapa, en cuanto al factor de restricción hídrica, sólo la variable respuesta biomasa foliar, fue significativamente superior en aquellas plantas que no fueron sometidas a restricción. A su vez, tampoco se observa interacción entre factores (restricción hídrica y fertilización) en esta etapa.

Tabla 1. Significancia estadística del análisis de varianza (ANOVA) para los valores medios de la biomasa de las plantas de olivillo durante las tres etapas del ensayo de restricción hídrica. Donde PSR: peso seco raíz; PSF: peso seco follaje; PST: peso seco tallo y PSTOTAL: peso seco total. Valores en **negrita**, son significativos en $P < 0,05$.

		PSR	PSF	PST	PSTOTAL
		(g)	(g)	(g)	(g)
Restricción hídrica	Fertilización (F)	0,0098	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Rest. hídrica (RH)	0,1561	0,0298	0,3774	0,0765
	F*RH	0,9431	0,3744	0,7464	0,6850
Mantención de la restricción hídrica	Fertilización (F)	0,0257	0,0004	0,0061	0,0499
	Rest. hídrica (RH)	0,0014	0,0021	0,0189	0,0027
	F*RH	0,5903	0,2633	0,3945	0,5731
Hidratación	Fertilización (F)	0,9535	<0,0001	<0,0001	0,0021
	Rest. hídrica (RH)	0,0096	0,0001	0,0001	0,0003
	F*RH	0,0725	0,0013	0,001	0,0045

Al evaluar la etapa de MRH, los componentes de biomasa, presentaron diferencias significativas para el factor fertilización y el factor riego en forma independiente, es decir, las plantas fertilizadas presentaron valores de biomasa superiores que aquellas no fertilizadas, independientemente si estaban o no regadas. Por otra parte, todas las plantas regadas presentaron valores de biomasa superiores que aquellas que no han sido regadas. No se observa interacción entre factores (restricción hídrica y fertilización) en esta etapa para ninguno de los parámetros de biomasa.



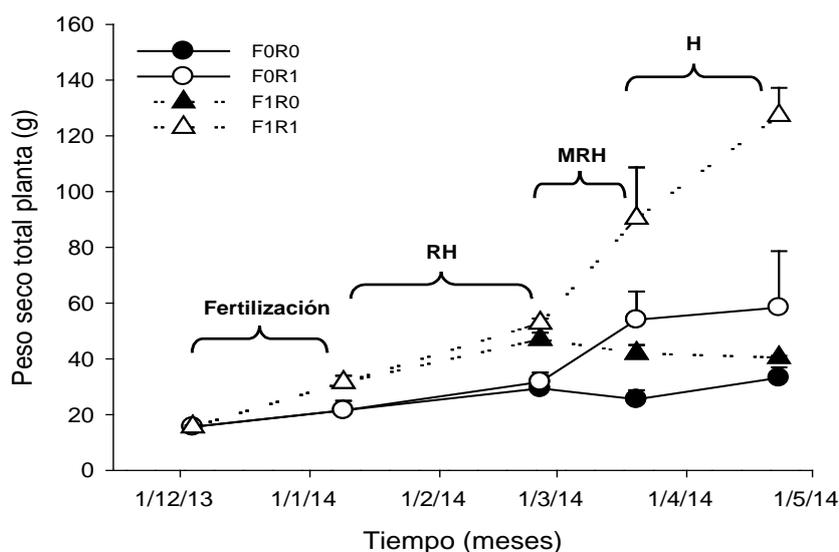


Figura 2. Biomasa media total (+desviación estándar) para plantas de olivillo durante las tres etapas de del ensayo de restricción hídrica, analizada por factor riego y fertilización. Donde F0: sin fertilización, F1: con fertilización, R0: sin riego, R1: con riego, RH: Etapa de restricción hídrica, MRH: Etapa de mantención de la restricción hídrica, H: Etapa de hidratación.

- Dinámicas de concentraciones nutricionales en respuesta a la restricción hídrica.

La evolución de los diferentes nutrientes durante el transcurso del ensayo fue absolutamente dependiente del tratamiento de fertilización, del riego y de la etapa durante la restricción hídrica. Durante la etapa de RH se observó una disminución de la concentración de nitrógeno en todos los tratamientos, siendo más pronunciadas para los tratamientos con fertilización (F1). La etapa de MRH indujo caídas en las concentraciones para todos los tratamientos en forma mucho más pronunciada que la etapa anterior. Finalmente, la etapa de H indujo una recuperación en las concentraciones internas de nitrógeno indistintamente del tratamiento. Los valores finales fueron 1,2; 0,9; 0,5 y 0,5% para los tratamientos F1R0, F1R1, F0R0 y F0R1, respectivamente (Figura 3A).

El fósforo disminuyó los niveles indistintamente del tratamiento de fertilización durante las etapas de RH y MRH, observando una leve recuperación en la etapa de H (Figura 3B). Para el potasio se observa un comportamiento similar al fósforo (Figura 3C), en donde las concentraciones de este elemento disminuyen, siendo este comportamiento mucho más pronunciado para los tratamientos sin fertilización (F0), para posteriormente recuperar las concentraciones de este elemento a nivel de planta completa.

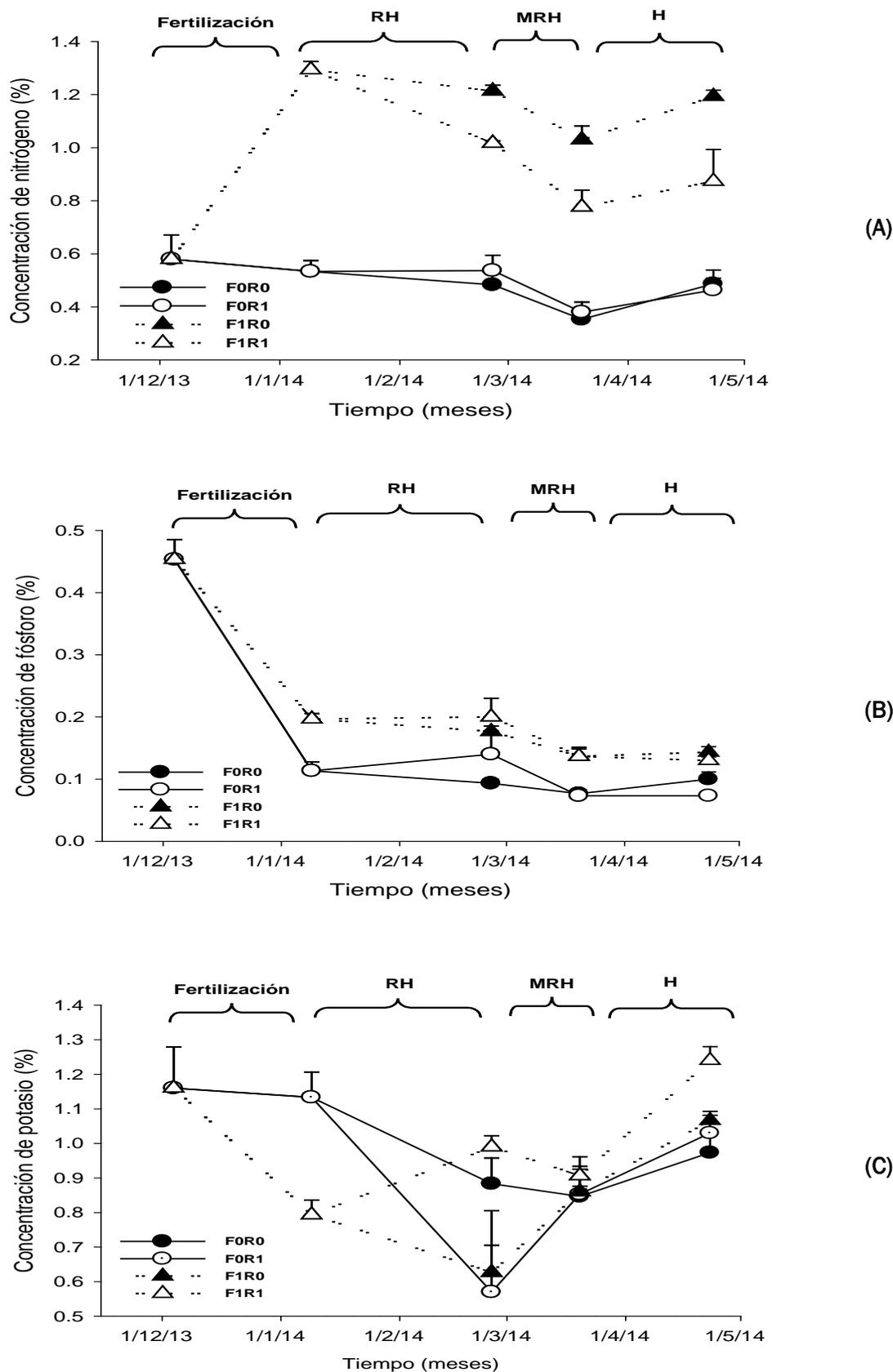


Figura 3. Evolución media (+desviación estándar) de la concentración de (A) nitrógeno (%), (B) fósforo (%), (C) potasio (%), para plantas de olivillo en respuesta a los tratamientos de riego y fertilización durante el transcurso del ensayo. Donde FO: sin fertilización, F1: con fertilización, R0: sin riego, R1: con riego, RH: Etapa de restricción hídrica, MRH: Etapa de mantenimiento de la restricción hídrica, H: Etapa de hidratación

- Dinámicas de concentraciones de carbohidratos solubles totales (CST).

Durante el ensayo de restricción hídrica, la concentración de CST fue significativamente afectada por cada una de las etapas del ensayo, interactuando entre con el riego y la fertilización (Figura 4). En general la concentración de CST aumentó durante las etapas de RH y MRH, para disminuir en la etapa de H. La restricción hídrica indujo un aumento significativo en la concentración de CST indistintamente del tratamiento de fertilización. Además, la fertilización aumentó la concentración de CST en todas las etapas en comparación con las plantas no fertilizadas. Al finalizar la etapa de RH las diferencias en concentración de CST fue un 103% mayor para el tratamiento F1 respecto a F0, con 0,0932 y 0,0458 mg g⁻¹ respectivamente. Al finalizar la etapa de MRH esta diferencia se redujo a un 41% (0,1252 y 0,0894 mg g⁻¹, también respectivamente). Es al final de la MRH donde la CST se vuelve máxima. Posteriormente, con la hidratación la concentración de CST disminuye en un 23 y 12% para el tratamiento fertilizado y no fertilizado, respectivamente.

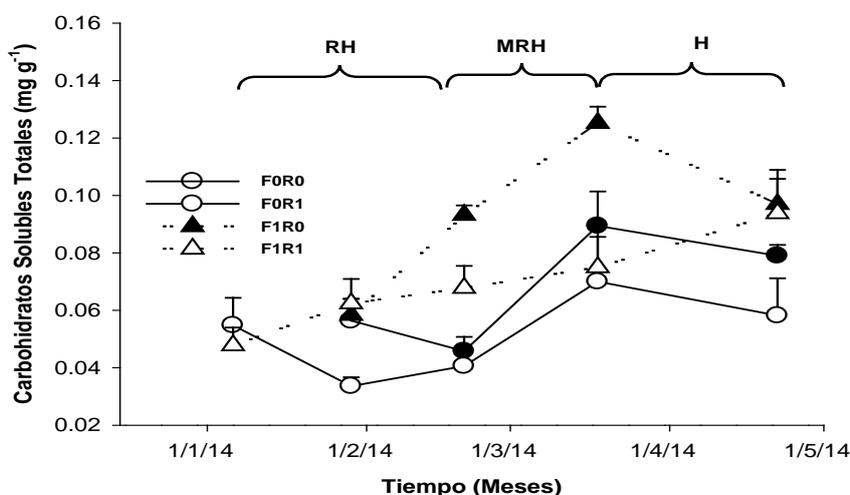


Figura 4. Evolución media (+desviación estándar) de la concentración de CST (mg g⁻¹) para plantas de olivillo en respuesta a los tratamientos de riego y fertilización durante el transcurso del ensayo. Donde F0: sin fertilización, F1: con fertilización, R0: sin riego, R1: con riego, RH: Etapa de restricción hídrica, MRH: Etapa de mantenimiento de la restricción hídrica, H: Etapa de hidratación.

5. Discusión

La morfología y la fisiología de las plantas que crecen en condiciones de restricción hídrica son diferentes a las de las plantas que tienen suficiente disponibilidad de agua, sin embargo, algunas respuestas de la planta pueden ser modificadas también por la disponibilidad de nutrientes. En este estudio, la fertilización aumentó la relación biomasa aérea/biomasa radical, cuando las plantas se encontraban con buena disponibilidad hídrica. Resultados similares se registraron en plantas de *Quercus ilex* L. fertilizadas con nitrógeno y con una buena disponibilidad hídrica (VILLAR-SALVADOR *et al.* 2004); CERNUSAK *et al.* (2009), en *Tectona grandis* Linn F., *Swietenia macrophylla* King, *Platymiscium pinnatum* (Jacq.) Dugand. observaron que la aplicación de una mezcla de fertilizantes (N, P y K) aplicada con buena disponibilidad hídrica aumentó esta misma relación.

En general, la restricción hídrica reduce la relación biomasa vástago: raíz en muchas especies. En plantas de *Q. saponaria* la relación biomasa aérea/biomasa radical disminuye significativamente cuando se someten a estrés hídrico, debido a la defoliación que sufre y al incremento de la biomasa de raíces (DONOSO *et al.* 2011). Cuando a la restricción hídrica se le suma la fertilización, el efecto de la sequía predomina sobre la fertilización. En este estudio, se observa que al final del periodo de evaluación cuando la planta se ve sometida a una restricción hídrica presenta menores valores en biomasa total en plantas de *A. punctatum*, independiente si esta fue fertilizada o no, sin embargo, cuando se incorpora la fertilización, aquellas plantas fertilizadas y con buena disponibilidad hídrica presentaron los mayores

valores. Al respecto, estos cambios a nivel de la morfología de la planta lo reportan diversos autores. COOPMAN *et al.* (2010) en trabajos de endurecimiento mediante ciclos de restricción hídrica en plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. demostraron que los tratamientos de endurecimiento generaron una disminución significativa en la altura de la planta, en el área foliar, desarrollo foliar, biomasa de tallo y hoja, mientras que el diámetro del cuello no se vio afectada. OLIVA *et al.* (1995) indican que para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, la inducción de un estrés hídrico produjo una reducción de la producción de materia seca alrededor de un 70% independiente del nivel de fósforo o calcio aplicado en el suelo, asimismo, este déficit generó una reducción del número de hojas y área foliar. A su vez, PRIETO *et al.* (2004) demostraron que una restricción hídrica en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. cercanas a un potencial hídrico de $-2,29$ MPa no le provocó daños físicos; sin embargo, sí limitó su crecimiento en altura, diámetro del cuello y producción de fitomasa, en contraste con el tratamiento sin restricción de humedad, que se mantuvo a potenciales hídricos entre $-0,13$ y $-0,20$ MPa. Resultados como reducción en el área foliar, biomasa de tallo y hojas, coinciden con lo obtenido por BIEL *et al.* (2004) en plantas de *Pinus nigra* Arnold. sometidas a restricción hídrica.

Contrariamente a lo esperado, la fertilización durante la etapa restricción hídrica no generó diferencias significativas en Fv/Fm en comparación con plantas no fertilizadas. Sin embargo, se observó un comportamiento diferencial de Fv/Fm entre ambos tratamientos de fertilización durante las etapas de MRH e H, en donde el tratamiento de fertilización indujo valores de Fv/Fm significativamente mayores que el tratamiento sin fertilización. De manera similar, se observó un aumento en el contenido de carbohidratos solubles durante la etapa de RH en respuesta a la fertilización. Esto coincide con lo expuesto por LATSAGUE *et al.* (2014) quienes evaluaron el contenido de carbohidratos solubles en hojas de *Berberidopsis corallina* Hook.f fertilizadas con N, P y K, concluyendo que estos aumentan significativamente cuando son fertilizados comparados con las plantas control sin fertilizar, asumiendo un mejor desempeño fotosintético en aquellas plantas fertilizadas.

6. Conclusiones

Se concluye que la fertilización en plantas de *A. punctatum* previo a un periodo de déficit hídrico, eleva los niveles nutricionales, generando un desempeño superior que plantas no fertilizadas, cuando son sometidas a una restricción hídrica.

El manejo, por medio de la fertilización, durante el proceso de viverización, genera características morfo-funcionales específicas en las plantas que les permitiría superar la fase de establecimiento en campo. La información técnica generada, aporta antecedentes para la producción de plantas orientadas a programas de restauración en zonas mediterráneas.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura de Chile por financiar esta investigación.

8. Bibliografía

BERGERUD WA. 1991. Pictures of Linear Models. Biom. Info. Hand. 1. Res. Br. B.C. Min. For. Victoria, B.C. ISSN 1183-9759. 43pp.

BIEL C; SAVÉ R; HABROUK A; ESPELTA J; RETANA J. 2004. Effects of Restricted Watering and CO₂ Enrichment in the Morphology and Performance after Transplanting of Nursery-grown *Pinus nigra* Seedlings. *HortScience* (39), 535 – 540.

CERNUSAK L; WINTER K; TURNER B. 2009. Physiological and isotopic ($\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$) responses of three tropical tree species to water and nutrient availability. *Plant, Cell & Environment*. 32, 1441-1455.

CHAVES M; PEREIRA; MAROCO J; RODRIGUES M; RICARDO C; OSÓRIO M; CARVALHO I; FARIA T;

PINHEIRO C. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89: 907 - 916.

COOPMAN R; JARA J; ESCOBAR R; CORCUERA L; BRAVO L. 2010. Genotypic variation in morphology and freezing resistance of *Eucalyptus globulus* seedlings subjected to drought hardening in nursery. *Electronic Journal of Biotechnology*. 13, 1 - 6.

DONOSO C. 2005. Árboles nativos de Chile. Guía de reconocimiento. Edición 4. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile. 136 p.

DONOSO S; PEÑA K; PACHECO C; LUNA G; AGUIRRE A. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque* 32, 187-195.

DURYEA ML; MCCLAIN K. 1984. Altering seedling physiology to improve reforestation success. In: Duryea ML, GN Brown eds. Seedling physiology and reforestation manual. Success I. Proceedings of the Physiology Working Group Technical Session. Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. p. 77-114.

HOFFMANN A. 1998. Flora Silvestre de Chile, Zona Central. Edición 4. Fundación Claudio Gay, Santiago. 254 p.

LANDIS TD. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T.D., Tinus R.W., McDonald, S.E., Barnett, J.P., The Container Tree Nursery Manual, Volume 4. Agric. Handbbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1-67.

LATSAGUE M; SÁEZ P; MORA M. 2014. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook.f. *Gayana Botanica*. 71, 37 - 42.

LUNA G. 2006. Evaluación de parámetros fisiológicos y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* Mol. bajo condiciones de déficit hídrico. Memoria para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 35 p.

MCMILLIN J; WAGNER M. 1995. Effects of water stress on biomass partitioning of Ponderosa Pine seedlings during primary root growth and shoot growth periods. *Forest Science*. 41, 594-610.

OLIET JA; VALDECANTOS A, PUÉRTOLAS J, TRUBAT R. 2006. Capítulo 5. Influencia del estado nutricional y el contenido en carbohidratos en el establecimiento de las plantaciones. En: Cortina, J., Peñuelas, J.L., Puértolas, J., Savé, R., Vilagrosa, A. (eds). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, España. pp. 89-118.

OLIVA M; FELIX DE BARROS N; DE MOUZA GOMES M. 1995. Muerte apical en eucalipto y manejo nutritivo de plantaciones forestales: aspectos fisiológicos del problema. *Bosque* 16, 77 - 86.

OTIENO D; SCHMIDT M; ADIKU S; TENHUNEN J. 2005. Physiological and morphological responses to water stress in two *Acacia* species from contrasting habitats. *Tree Physiology* 25: 361 - 371.

PELAH D; WANG W; ALTMAN A; SHOSEYOV O; BARTELS D. 2008. Differential accumulation of water stress-related proteins, sucrose synthase and soluble sugars in *Populus* species that differ in their water stress response. *Physiologia Plantarum* 59:153-159.

PRIETO-RUIZ J; CORNEJO-OVIEDO E; DOMÍNGUEZ-CALLEROS P, NÁVAR-CHAIDEZ J, J MARMOLEJO-MONCIVAIS, J JIMÉNEZ-PÉREZ. 2004. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Invest Agrar: Sist Recur For*. 13, 443 - 451.

RIOS D. 1985. Resistencia al frío en hojas de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. y su relación con el contenido de carbohidratos. Tesis de Magíster. Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias, Instituto de Botánica, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 64 p.

SANZ V; CASTRO P; VALLADARES F. 2004. Efectos de la disponibilidad de agua y nutrientes en el patrón de acumulación de carbohidratos en plántulas de tres especies de *Quercus*. *Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 20, 129-134.

SMITH-RAMÍREZ C; ARMESTO J; RODRÍGUEZ J; GUTIERREZ A; CHRISTIE D; NÚÑEZ-ÁVILA M, 2005. *Aextoxicon punctatum*, el tique u olivillo. En: Biodiversidad, historia y ecología de los bosques costeros de Chile. (Eds C Smith-Ramírez, JJ Armesto, C Valdovinos). Editorial Universitaria: Santiago, Chile. pp. 278-283.

VILLAR-SALVADOR P; PLANELLES R; ENRÍQUEZ E; PEÑUELAS-RUBIRA J. 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology and Management*. 196, 257 - 266.

TINUS RW; BURR KE; ATZMON N; RIOV J. 2000. Relationship between carbohydrate concentration and root growth potential in coniferous seedlings from three climates during cold hardening and dehardening. *Tree Physiology*. 20, 1097-1104.