

Acumulación de materia seca, orientada a valorar la fijación de carbono, en función del aporte de riego y la pluviometría, en Cabernet-Sauvignon a lo largo de 15 años

Accumulation of dry matter, aimed at assessing carbon fixation, depending on the irrigation application and rainfall, in Cabernet-Sauvignon over 15 years

Jesús Yuste¹ y D. Martínez-Porro¹

¹ Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, 47071 Valladolid (España)

Resumen. El viñedo es capaz de fijar carbono en sus estructuras a partir del anhídrido carbónico atmosférico, a través de la fotosíntesis y su transformación en materia orgánica. La capacidad fotosintética del viñedo depende de los recursos hídricos que la planta pueda tener a su alcance, por lo que la cantidad de biomasa y materia seca que pueda almacenar dependerá del régimen hídrico del cultivo, tanto en los órganos renovables anualmente como en los órganos permanentes. Las expectativas puestas en ciertos cultivos, como el viñedo, para ser considerados como elementos fijadores y almacenadores de carbono, en el ámbito de la reducción de CO₂ atmosférico, hace interesante valorar la capacidad del viñedo para acumular materia seca, almacenadora de carbono, en sus estructuras permanentes, en función del régimen hídrico.

A lo largo del periodo 2004-2019, se llevó a cabo una serie de ensayos sucesivos relacionados con la aplicación de riego siguiendo diversos criterios, en cv. Cabernet Sauvignon, injertado sobre 110-R, con marco de plantación de 2,2 x 1,2 m, conducido en espaldera, en Valladolid. Los tratamientos experimentales de riego, basados en 4 bloques al azar con parcela elemental de 27 cepas, abarcaron desde el secano (no riego) hasta aplicaciones de riego del 50% de ETo, a través de la modalidad tradicional o del tipo PRD en la línea, siempre durante periodos de al menos 3 años consecutivos. En diciembre de 2019, cada cepa fue arrancada y sometida a las siguientes operaciones: limpieza de tierra adherida a raíces, separación en tres partes (brazos, tronco y raíces), pesaje en fresco y secado en estufa para pesaje en seco. El control de peso se realizó sobre 9 cepas por repetición, contabilizando así un total de 36 cepas de cada tratamiento o serie de tratamientos sucesivos en el ensayo.

La acumulación de biomasa en las partes permanentes de la cepa aumentó de forma notoria con el aumento de la cantidad de agua de riego aplicada a lo largo del tiempo, sin apreciarse ninguna influencia de la modalidad de aplicación de riego en la producción global de materia seca del viñedo. La eficiencia del agua en la producción de materia seca y la fijación de carbono se vio modificada en función de la dosis de agua aplicada mediante riego. La consideración del viñedo como elemento favorecedor del almacenamiento permanente de carbono debe tener en cuenta las condiciones y posibilidades de disponibilidad hídrica del cultivo, incluyendo la pluviometría, que puede ejercer una influencia importante en función de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y del manejo que se haga de dicho tipo de suelo.

Abstract. The vineyard is capable of fixing carbon in its structures from atmospheric carbon dioxide, through the process of photosynthesis and its transformation into organic matter. The photosynthetic capacity of the vineyard depends on the water resources that the plant may have at its disposal, so the amount of biomass and dry matter that it can store will depend on the water regime of the crop, both in the annually renewable organs as in permanent parts. The expectations placed on certain crops, such as the vineyard, to be considered as carbon fixing and storing elements, in the field of reducing CO₂ in the atmosphere, makes it interesting to assess their

capacity to accumulate dry matter, which stores carbon, in its permanent organs, depending on the water regime of the crop.

Throughout the period 2004-2019, a series of successive tests related to the application of irrigation were carried out following various criteria, in cv. Cabernet Sauvignon, grafted on 110-R, with a 2.2 x 1.2 m planting distances, trellis trained, in Valladolid. The experimental irrigation treatments, based on 4 random blocks with an elementary plot of 27 vines, ranged from dry land (no irrigation) to irrigation applications of 50% ETo, through the traditional modality or the PRD type in the line, always for periods of at least 3 consecutive years. In december 2019, each vine was uprooted to carry out the following operations: cleaning of soil attached to roots, separation into three parts (cordon, trunk and roots), fresh weighing and drying in an oven for dry weighing. The weight control was carried out on 9 vines from each elemental plot, so that it was applied to a total of 36 vines from each treatment or series of successive treatments in the trial.

The accumulation of biomass in the permanent parts of the vine increased noticeably with the increase of the amount of irrigation water applied over the time, without any influence of the mode of irrigation application on the overall dry matter production of the vineyard. The efficiency of water in the production of dry matter and carbon fixation was modified depending on the dose of water applied through irrigation. Considering the vineyard as a favorable element for permanent carbon storage must take into account the conditions and possibilities of water availability of the crop, including rainfall, which can exert an important influence depending on the water storage capacity of the soil and the management of the type of soil.

1. Introducción

El viñedo acumula carbono en sus estructuras permanentes a partir de la captación de anhídrido carbónico atmosférico, a través del proceso de intercambio gaseoso y fotosíntesis y de la transformación en materia orgánica en la planta, por lo que su cultivo puede jugar un papel importante en la fijación de CO₂ [1].

La asimilación de carbono foliar es un proceso fisiológico básico que está sujeto a diversos factores de variación, entre los que destaca la disponibilidad hídrica del suelo, ya que la capacidad fotosintética del viñedo depende de los recursos hídricos que la planta pueda tener a su alcance [2].

El balance de carbono requiere tener en cuenta también la pérdida por respiración de diferentes órganos de la planta, que puede llegar a representar el 50% del carbono fijado por la fotosíntesis [3]. La estimación del balance de carbono precisa de la determinación de la producción de biomasa de las cepas [4]), ya que la cantidad de materia seca constituyente de la misma representa el almacén de reserva de carbono de la planta, mayormente en los órganos permanentes de la misma (brazos, tronco y raíces), puesto que el carbono fijado en los órganos renovables (sarmientos, hojas y fruto) es muy susceptible de pérdida o exportación del viñedo.

Las expectativas puestas en ciertos cultivos, como el viñedo, para ser considerados como elementos fijadores y almacenadores de carbono, en el ámbito de la reducción de CO₂ en la atmósfera, hace interesante la valoración de su capacidad para acumular materia seca, almacenadora de carbono, la cual se ha mostrado dependiente de diversos factores de cultivo, como la variedad vinífera [5], la densidad de plantación [6] o el régimen hídrico de cultivo [7].

El cálculo de la fijación de carbono por el viñedo no es sencillo, pues una parte del mismo se almacena en las estructuras permanentes de la planta mientras que otra

parte puede ir a parar al suelo, a través de la acción de diversos microorganismos. El cálculo de esta parte es complejo, mientras que el cálculo del almacenamiento de carbono en los órganos permanentes de la planta es mucho más viable y fiable. Así, se han llevado a cabo algunos trabajos que han permitido estimar la cantidad de carbono fijado por hectárea de viñedo, apuntando valores en torno a 5 t/ha en amplias zonas de cultivo según las condiciones genéricas de producción [1].

Teniendo en cuenta el efecto acumulado que la variación del régimen hídrico puede suponer en la producción de biomasa y materia seca, y consecuentemente en la fijación de carbono, se plantea un trabajo orientado a cuantificar dicha producción en un viñedo del cv. Cabernet Sauvignon, conducido en espaldera, en el centro del valle del río Duero, por medio del arranque íntegro de cepas sometidas a distintos niveles de disponibilidad hídrica a través del riego a lo largo de un período de tiempo de 15 años.

2. Material y métodos

El trabajo se acometió en diciembre de 2019, por medio del arranque íntegro de cepas, para valorar el desarrollo vegetativo acumulado derivado de una serie de ensayos sucesivos relacionados con la aplicación plurianual de distintos niveles de riego a lo largo del tiempo.

El viñedo fue plantado en 2004, en la finca Zamadueñas (Valladolid), perteneciente al ITACYL. El material empleado es *Vitis vinifera* L, cv. Cabernet Sauvignon, sobre portainjerto 110 Richter, con un marco de 2,2 m x 1,2 m (3.788 cepas/ha). La orientación de filas es N-S. El sistema de conducción es espaldera vertical, mediante poda en cordón Royat bilateral con 3 pulgares de 2 yemas en cada brazo (12 yemas por cepa).

El suelo del ensayo presenta alta pedregosidad (más de 65% de elementos gruesos), lo que le confiere un buen drenaje, con una capacidad potencial de retención de agua

estimada en 70 mm/m de profundidad. Es de tipo arcillo-arenoso en el primer horizonte (20 cm) y franco-arcillo-arenoso en los dos siguientes (20-100 cm), llano, sin limitaciones físicas ni químicas para el cultivo de viñedo.

El diseño experimental se fundamentó en 4 bloques al azar, para aplicar 4 tratamientos experimentales a lo largo del tiempo, hasta el arranque del viñedo. Así, los 4 tratamientos, que se identifican con las siglas T0, T2, P1 y P2, comprendieron 4 repeticiones, con la parcela elemental formada por 27 cepas, distribuidas en 3 filas de 9 cepas, de las cuales las 9 cepas centrales fueron de control, siendo las contiguas destinadas al efecto borde.

El desarrollo del ensayo abarcó la aplicación de diferentes tratamientos de régimen hídrico que incluyeron desde el secano (no riego) hasta la aplicación de riego del 50% de ETo, a través de la modalidad tradicional o del tipo PRD en la línea, siempre durante periodos de al menos 3 años consecutivos. El riego fue aplicado semanalmente por goteo aéreo, con goteros integrados autocompensantes de caudal 4,0 L.h⁻¹, colocados cada 60 cm, a 30 cm del tronco de la cepa.

Los tratamientos experimentales aplicados en los distintos periodos se describen de la forma siguiente:

- 2004-2008: riego común del 20% ETo durante el verano, mediante sistema tradicional (T) o mediante sistema PRD - secado parcial de raíces - (P), en la línea, con una dosis media anual para todos los tratamientos de 74 mm.
- 2009-2011: secano (T0), riego tradicional 25% ETo (T2) -dosis 89 mm-, riego PRD 12,5% ETo (P1) -dosis 44 mm-, riego PRD 25% ETo (P2), -dosis 89 mm-, durante el verano.
- 2012-2014: secano (T0), riego tradicional 50% ETo (T2) -dosis 185 mm-, riego PRD 25% ETo (P1) -dosis 93 mm, riego PRD 50% ETo (P2), -dosis 185 mm-, durante el verano.
- 2015-2017: rehidratación de 12 horas cuando se alcanza un nivel de estrés variable (Ψ de tallo a mediodía). Secano = no riego (T0); cuando $\Psi_x \approx 1,7-1,8$ MPa (P1) -dosis 36 mm-; cuando $\Psi_x \approx 1,4-1,5$ MPa (T2) -dosis 97 mm-; cuando $\Psi_x \approx 1,0-1,2$ MPa (P2) -dosis 133 mm-.
- 2018-2019: no se aplicó riego a ningún tratamiento.

El arranque de cepas fue realizado mediante cadena operada con elevador de tractor cuando el terreno se encontraba en adecuado estado de tempero, para optimizar

la extracción del sistema radicular. Una vez arrancadas las plantas enteras, se limpió la tierra adherida a las raíces, observando que todas las cepas arrancadas contaban con sus raíces principales ($0 > 5$ mm) según la clasificación de Richards de 1983 [6].

A continuación, se procedió al control de peso en fresco de todas las cepas de control, totalizando 36 cepas muestreadas por tratamiento (9 por repetición), para lo cual se dividió mecánicamente cada cepa en tres partes, separando el tronco de los brazos justo por debajo de la zona de división de los mismos, y separando el tronco del sistema radicular, realizando un corte justo por encima de la inserción de las primeras raíces. Se pesó por separado cada una de las tres partes de cada cepa mediante báscula portátil. Posteriormente, tras su división en pequeñas porciones para un mejor secado, las muestras se colocaron en bandejas con su identificación de tratamiento correspondiente (T0, T2, P1 P2) y tipo de fracción de la cepa (brazos, tronco y raíz).

Las muestras de madera en bandeja se mantuvieron a temperatura ambiente durante un periodo de 30 días, perdiendo parte de la humedad inicial. Después se introdujeron y mantuvieron en estufa a 70 °C durante 6 semanas, realizándose el control de peso con frecuencia semanal. Al cabo de dicho periodo, se incrementó la temperatura de la estufa hasta 110 °C, manteniéndose en dicha situación durante 5 semanas, realizándose el control de peso semanal, hasta que se determinó el final del proceso de secado por el cese de variación en el peso de cada muestra entre dos controles de peso consecutivos.

A partir de los datos de peso obtenidos, tanto en fresco como en seco, se calcularon diversos parámetros, generando los resultados que fueron sometidos al correspondiente análisis ANOVA, mediante el programa SPSS 16.0, tal como se muestra en el apartado de Resultados.

Los datos de dosis de riego de cada tratamiento y de precipitación anual se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Riego de cada tratamiento (mm) y precipitación (mm), anual y total, en el periodo 2004-2019 en Valladolid.

	2004-2008	2009-2011	2012-2014	2015-2017	2018-2019	Total	Media anual
T0	74	0	0	0	0	370	23
T2	74	89	185	97	0	1483	93
P1	74	44	93	36	0	889	56
P2	74	89	185	133	0	1591	99
Precipitación	387	423	330	316	479	6100	381

3. Resultados

3.1. Peso fresco de madera

La cantidad de madera producida (tabla 2) se vio significativamente aumentada por los tratamientos con aplicación de riego con respecto al secano (T0), contabilizando hasta 22,4 t/ha (P2) frente a 17,1 t/ha (T0), generando así un aumento en los tratamientos de mayor dosis (T2 y P2) de unas 5,2 t/ha y en el de menor dosis (P1) de 2,6 t/ha, con respecto al T0, lo que representa incrementos aproximados de 30 y 15% respectivamente.

Tabla 2. Peso de madera en fresco (kg/cepa), por partes y de la cepa, y rendimiento (t/ha). Significación estadística: *, p<0,05. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos.

	Brazos	Tronco	Raíces	Cepa	t/ha
T0	1,69b	2,11b	0,71	4,51b	17,1b
T2	2,16a	2,63a	1,07	5,86a	22,2a
P1	1,85b	2,48ab	0,87	5,21ab	19,7ab
P2	2,13a	2,69a	1,09	5,91a	22,4a
Media	1,96	2,48	0,94	5,37	20,4
Sig.	*	*	-	*	*

El aumento de madera derivado del riego se produjo en todos los órganos diferenciados de la cepa (brazos, tronco y raíces), mostrando diferencias estadísticamente significativas tanto en la cantidad total de madera como en las distintas partes u órganos de la cepa, excepto en las raíces. Dichas diferencias discriminaron los tratamientos más regados, T2 y P2, del secano (T0), sin discriminar el tratamiento de riego intermedio (P1) del resto, aunque en la parte de raíces las diferencias no llegaron a resultar estadísticamente significativas. En la parte de brazos el tratamiento P1 presentó menor peso fresco que T2 y P2, sin distinguirse del T0.

3.2. Humedad de la madera

El contenido en humedad de la madera (tabla 3) fue similar en todos los tratamientos aplicados, tanto en el conjunto de la cepa como en cada uno de los órganos analizados. El porcentaje medio de humedad, ponderado según la aportación de cada parte al peso de la cepa, varió en conjunto entre 42,3% y 44,4%, mientras que como valores extremos observados en cualquier parte de la cepa se observaron el 40,7% en los brazos del P2 y el 47,1% en las raíces del T2, sin que las diferencias entre tratamientos resultasen significativas. Tampoco se apreciaron diferencias entre los distintos órganos, con una variación media entre 42,5% (brazos) y 43,7% (tronco).

Tabla 3. Humedad (Hd, %) y Peso seco (PS, %) en cada parte de la cepa para cada tratamiento y en general.

	Brazos		Tronco		Raíces		Cepa	
	Hd	PS	Hd	PS	Hd	PS	Hd	PS
T0	42,7	57,3	44,0	56,0	41,7	58,3	43,1	56,9
T2	42,5	57,5	44,8	55,2	47,1	52,9	44,4	55,6
P1	42,3	57,7	43,5	56,5	42,7	57,3	42,9	57,1
P2	40,7	59,3	42,8	57,2	44,1	55,9	42,3	57,7
Gral.	42,5	57,5	43,7	56,3	42,8	57,2	43,2	56,8

Inversamente, el porcentaje de materia seca mostró valores medios entre el 55,6% y el 57,7% en el conjunto de la cepa, promediando en conjunto un 56,8%, sin tendencia definida entre tratamientos derivada del riego.

3.3. Materia seca

La cantidad de materia seca acumulada por cada tratamiento (tabla 4) fue, lógicamente, proporcional al peso fresco de madera obtenido, dada la escasa variación porcentual del peso seco con respecto al peso fresco de los distintos órganos leñosos analizados. Así, el secano (T0) acumuló 9,66 t/ha, el P1 acumuló 11,14 t/ha, el T2 acumuló 12,54 t/ha y el P2 acumuló 12,65 t/ha, lo que representó aumentos del 15% en P1 y de aproximadamente el 30% en T2 y P2, con respecto al T0. El rendimiento medio de materia seca fue de 11,5 t/ha.

Tabla 4. Materia seca (kg/cepa), por partes y de la cepa, y rendimiento (t/ha). Significación estadística: *, p<0,05. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos.

	Brazos	Tronco	Raíces	Cepa	t/ha
T0	0,96b	1,18b	0,41	2,55b	9,66b
T2	1,23a	1,48a	0,61	3,31a	12,54a
P1	1,06b	1,39ab	0,50	2,94ab	11,14ab
P2	1,22a	1,51a	0,62	3,34a	12,65a
Media	1,12	1,39	0,53	3,03	11,50
Sig.	*	*	-	*	*

La distribución de materia seca (tabla 5) acumulada en los distintos órganos de la cepa reflejó el mayor peso del tronco, representando 45,8% del conjunto de la cepa, y el menor peso de las raíces, representando el 17,4% del conjunto, mientras que los brazos representaron el 36,8%. No se observaron diferencias notables entre los tratamientos aplicados en el porcentaje que representa cada órgano en el conjunto de la cepa.

Tabla 5. Contribución (%) de cada parte al total de materia seca de la cepa.

	Brazos	Tronco	Raíces	Total
T0	37,8	46,3	15,9	100
T2	37,1	44,5	18,4	100
P1	35,9	47,2	16,9	100
P2	36,4	45,1	18,6	100
Media	36,8	45,8	17,4	100

3.4. Eficiencia productiva del agua

La eficiencia del agua en la producción de materia seca se ha estimado como peso de materia seca por volumen de agua recibida por el viñedo (tabla 6). En primer lugar, la eficiencia del agua total, precipitación (6100 L/m²) más riego de cada tratamiento, mostró valores entre 0,149 (T0) y 0,165 (T2) kg de m.s./m³, con tendencia favorable a T2 y P2 frente a T0. En segundo lugar, la eficiencia exclusiva del agua de riego de cada tratamiento mostró valores entre 0,795 (P2) y 2,611 (T0) kg de m.s./m³, con diferencias significativas favorables a T0 respecto a P1 y de P1 con respecto a T2 y P2, reflejando una disminución entre el T0 y el P1 del 52% y entre el P1 y el P2 del 36%, resultando la disminución entre el T0 y el P2 del 69%.

Teniendo en cuenta el incremento del agua de riego (Δ -R) con respecto al T0, denominado secano (sólo regado, de forma común, en el periodo de formación del viñedo, 2004-2008) y el incremento de materia seca producida con respecto a dicho tratamiento (Δ -mst), el incremento unitario de materia seca por volumen de agua de riego aplicada (Δ -msR) presentó valores en torno a 0,263 kg/m³, observándose diferencias favorables a P1 con respecto a T2 y P2, que promediaron un aumento del 16% del P1 con respecto al P2.

Tabla 6. Eficiencia en materia seca (kg/m³) del agua total/ha, EUA-T (Precipitación + Riego) (kg m.s./m³) y del agua de riego/ha, EUA-R (kg m.s./m³), e incremento (Δ) del agua de riego aplicada, Δ -R (m³/T0), de la materia seca, Δ -mst (kg/ha) y de la materia seca unitaria por riego, Δ -msR (kg/m³), con respecto al secano (T0). Significación estadística: *, p<0,05. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos.

	EUA-T m.s./m3	EUA-R m.s./m3	Δ -R m3/T0	Δ -mst m.s./T0	Δ -msR m.s./m3
T0	0,149	2,611a	-	-	-
T2	0,165	0,845c	11130a	2880a	0,258b
P1	0,159	1,253b	5190b	1480b	0,285a
P2	0,164	0,795c	12210a	2990a	0,245b
Media	0,159	1,376	9510	2450	0,263
Sig.	-	*	*	*	*

3.5. Acumulación de carbono

El carbono acumulado por cada tratamiento en la madera (tabla 7) fue, lógicamente, proporcional al peso de materia seca obtenido, ya que su cálculo fue realizado a partir del mismo, bajo la consideración de la riqueza en carbono de la materia seca de vid indicada por Munalula y Meincken

(2009) [8] y Savé et al. (2014) [1], que fue establecida en un promedio del 50%. Así, el secano (T0) acumuló 4,83 t/ha, el P1 acumuló 5,57 t/ha, el T2 acumuló 6,27 t/ha y el P2 acumuló 6,32 t/ha, lo que representó incrementos del 15% en P1 y de aproximadamente el 30% en T2 y P2, con respecto al secano (T0), siendo el rendimiento medio de carbono acumulado de 5,75 t/ha.

Tabla 7. Fijación de carbono total, C (t/ha), eficiencia del agua total/ha, C-T (Precipitación + Riego) (kg C/m³) y del agua de riego/ha, C-R (kg C/m³), e incremento (Δ) de carbono acumulado, Δ C/T0 (kg/ha) con respecto a T0 y de carbono acumulado por volumen de agua aplicado, Δ C-R (kg/m³). Significación estadística: *, p<0,05. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos.

	C (t/ha)	C-T (kg/m ³)	C-R (kg/m ³)	Δ C/T0 (kg/ha)	Δ C-R (kg/m ³)
T0	4,83b	0,075	1,301a	-	-
T2	6,27a	0,083	0,423c	1440a	0,129b
P1	5,57ab	0,079	0,626b	740b	0,143a
P2	6,32a	0,082	0,398c	1495a	0,123b
Media	5,75	0,080	0,687	1225	0,132
Sig.	*	-	*	*	*

La eficiencia del agua total (precipitación más riego) en la fijación de carbono presentó valores en torno a 0,080 kg/m³, con tendencia ligeramente favorable a los tratamientos T2 y P2 frente a T0. La eficiencia exclusiva del agua de riego de cada tratamiento mostró valores entre 0,398 (P2) y 1,301 (T0) kg/m³, con diferencias significativas favorables a T0 respecto a P1 y de P1 con respecto a T2 y P2, reflejando una disminución entre el T0 y el P1 del 52% y entre el P1 y el P2 del 36%, resultando la disminución entre el T0 y el P2 del 69%.

Teniendo en cuenta el incremento de la cantidad de carbono acumulada (Δ C/T0), en kg/ha, dependiente significativamente de la cantidad de agua de riego aplicada, con respecto al secano (T0), el incremento de carbono acumulado por volumen de agua aplicado con respecto a dicho tratamiento (Δ C-R), en kg/m³, presentó valores en torno a 0,132 kg/m³, observándose diferencias favorables a P1 con respecto a T2 y P2, que promediaron un aumento del 16% del P1 con respecto al P2.

4. Discusión y conclusiones

La aplicación continuada de riego produjo un aumento significativo de la madera acumulada con respecto al secano (T0), generando una diferencia de 5,2 t/ha en los tratamientos de mayor dosis (T2 y P2) y de 2,6 t/ha en el de nivel de riego intermedio (P1). Dicho aumento de madera se produjo en todos los órganos diferenciados de la cepa, lo que refrenda la dependencia de la disponibilidad de agua para generar biomasa. El contenido en humedad de la madera, que no mostró distinción debida al riego aplicado, tanto en el conjunto de la cepa como en cada órgano analizado, derivó finalmente en un porcentaje de materia seca con valores entre el 55,6% y el 57,7% en el conjunto de la cepa, sin mostrar una tendencia definida derivada del riego.

Como consecuencia de los resultados anteriores, la materia seca acumulada por el viñedo fue en secano de 9,7 t/ha, con riego intermedio de 11,1 t/ha, y con riego de mayor dosis de 12,6 t/ha, representado así aumentos del 15% y del 30% con respecto al secano.

La eficiencia del agua en la producción de materia seca ha mostrado diferente resultado en función del enfoque del análisis efectuado. Así, la eficiencia del agua total, considerando tanto la precipitación (6100 L/m²) como el riego de cada tratamiento, el cual sólo representó entre el 13% (en P1) y el 20% (en T2 y P2) con respecto al total, mostró ligeras diferencias desfavorables al secano (T0), mientras que la eficiencia exclusiva del agua de riego, sin considerar la precipitación, mostró valores de materia seca claramente superiores en T0 (2,61 t/ha) que en P1 (1,25 t/ha) y que en T2 y P2 (0,84 y 0,79 t/ha). Unitariamente, el incremento de materia seca por volumen de agua de riego aplicado con respecto al secano presentó valores entre 0,245 y 0,285 kg/m³, favorables al nivel intermedio (P1) con respecto al nivel más alto de riego (T2 y P2), que supusieron un aumento del 16%.

La fijación de carbono se vio, lógicamente, afectada claramente por el régimen hídrico, en correspondencia con la materia seca producida. El riego de mayor dosis generó 6,3 t/ha, el de dosis intermedia 5,6 t/ha y el secano 4,8 t/ha de carbono. La eficiencia del agua total recibida por el viñedo supuso la fijación de carbono en torno a 0,08 kg/m³, mientras que la eficiencia exclusiva del agua de riego mostró valores entre 0,40 (P2) y 1,30 (T0) kg/m³, con diferencias desfavorables para T2 y P2.

El incremento de carbono acumulado por volumen de agua de riego con respecto al secano estuvo en torno a 0,132 kg/m³, con aumento del 16% de P1 respecto a P2.

En definitiva, la síntesis de biomasa, expresada mediante materia seca, y la correspondiente acumulación de carbono en la madera, reflejan la dependencia que el viñedo tiene de la disponibilidad de agua, estando la eficiencia del agua condicionada por el nivel de riego que sea aplicado en cada tipo de suelo y, probablemente, el material vegetal constituyente del viñedo.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible con ayuda del proyecto PID2019-105039RR-C42, financiado por AEI/MCIN, con el apoyo de colaboradores del ITACYL.

6. Referencias

1. R. Savé, C. Biel, I. Funes, F. De Herralde, X. Aranda. El cultivo de la vid como sumidero de carbono en Cataluña. *Enoviticultura* **31**: 62-69 (2014)
2. J.M. Escalona, E. Hernández-Montes, M. Tomás, H. Medrano. Factores ambientales y agronómicos que determinan la fijación de carbono en vid. *Enoviticultura* **31**: 10-19 (2014)
3. E. Hernández-Montes, M. Tomás, H. Medrano, J.M. Escalona. Importancia del componente respiratorio en el balance de carbono en vid (*Vitis vinifera* L.). *Enoviticultura* **31**: 20-27 (2014)
4. C. Miranda, L.G. Santesteban, M. Loidi, J.B. Royo. Balance de carbono del viñedo: cuantificación y reparto de la biomasa producida. *Enoviticultura* **31**: 100-108 (2014)
5. J. Yuste, A.L. de la Torre. Biomasa acumulada en las partes permanentes de cepas adultas de distintas variedades de vid en el valle del Duero. *Vida Rural* **331**: 40-44 (2011)
6. J.J. Hunter. Plant spacing implications for grafted grapevine I. Soil characteristics, root growth, dry matter partitioning, dry matter composition and soil utilisation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **19** (2): 25-34 (1998)
7. J.R. Yuste, J. Yuste. Acumulación de materia seca en cepas arrancadas de Tempranillo en función del régimen hídrico en el Valle del Duero. *Enoviticultura* **7**: 24-29 (2010)
8. F. Munalula, M. Meincken. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. *Biomass and Bioenergy* **33**: 415-420 (2009)