

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Agronòmica i del Medi Natural

EFFECTOS DEL AGUA DE RIEGO USADO EN EL VIÑEDO EN EL PERFIL AROMÁTICO DE UVAS DE LA VARIEDAD MONASTRELL

Máster en Enología

Autor/a: Zeineb Reddad Maazouza

Tutor/a: M^a José García Esparza

Curso académico 2017 – 2018

Valencia, 30 de julio de 2018

EFFECTOS DEL AGUA DE RIEGO USADO EN EL VIÑEDO EN EL PERFIL AROMÁTICO DE UVAS DE LA VARIEDAD MONASTRELL

Zeineb Reddad Maazouza, M^a José García Esparza

RESUMEN

El cambio climático que se observa con el paso de los años, plantea restricciones en la utilización de agua y obliga al desarrollo de nuevas formas y técnicas de utilización de los recursos. Los retos más inminentes que deben afrontar la industria vinícola, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, son el aumento de la sequía y la salinidad debido a la mayor evaporación y la disminución de la disponibilidad de agua.

Se han aplicado 6 estrategias de riego en 24 parcelas de Monastrell: secano sin riego, riego deficitario desde la floración con agua de riego sin efecto osmótico, riego deficitario desde la floración o durante el periodo post-envero con agua salina con base de sulfatos y riego deficitario a partir de la floración o en el periodo post-envero con agua salina con base de cloruros.

El objetivo del trabajo es estudiar el efecto de la utilización de aguas no convencionales provenientes de la depuración de los vertidos municipales para reducir el déficit hídrico del suelo al que se ven sometidos los viñedos en secano, sobre la composición aromática de los vinos elaborados con diferentes protocolos de riego.

Palabras clave: Monastrell, riego, salinidad, efecto osmótico, secano, composición aromática.

SUMMARY

The climate change that is observed with the passage of the years, raises restrictions on the use of water and requires the development of new forms and techniques of resource utilization. The most imminent challenges faced by the wine industry, especially in the arid and semi-arid regions, are the increase in drought and salinity due to increased evaporation and decreased of water availability.

Six irrigation strategies have been applied in 24 Monastrell plots: dry-land without irrigation, deficit irrigation flowering with irrigation water without osmotic effect, deficit irrigation from flowering or during the period post-envero with saline water with sulphate based and deficit irrigation from flowering or in the period post-envero with saline water with based chloride.

The objective of the work is to study the effect of the use of non-conventional waters coming from the purification of municipal discharges to reduce the water deficit of the soil to which the dry-land vineyards are subject, on the aromatic composition of wines made with different protocols of irrigation.

Keywords: Monastrell, irrigation, salinity, osmotic effect, dry-land, aromatic composition.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS.....	5
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
3.1.	Materia prima.....	6
3.2.	Diseño experimental	6
3.3.	Métodos analíticos.....	8
3.3.1.	Madurez tecnológica.....	8
3.3.2.	Precusores aromáticos.....	8
3.4.	Tratamiento estadístico	8
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1.	Seguimiento de la producción	9
4.2.	Seguimiento de la madurez tecnológica.....	9
4.2.1.	Evolución del peso de la baya	9
4.2.2.	Contenido de sólidos solubles totales.....	10
4.2.3.	Acidez total y pH.....	11
4.3.	Influencia del período de riego y la calidad del agua utilizada sobre los compuestos aromáticos.....	13
4.4.	Análisis de componentes principales	22
5.	CONCLUSIONES	26
6.	BIBLIOGRAFÍA	27

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del agua de riego de la vid respecto su uso y la conductividad eléctrica. (Fuente: Hidalgo, 2011)..... 3

Tabla 2. Resumen detallado de los diferentes tratamientos aplicados a la parcela de estudio..... 7

Tabla 3. Evolución de la producción de Monastrell del año 2016 al 2017. 9

Tabla 4. Tratamientos aplicados y agrupación de los mismos para la realización del estudio	13
--	----

Tabla 5. Valores medios, desviación estándar y ANOVA de los compuestos aromáticos liberados de sus precursores en función del periodo de irrigación ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de uva) en uvas de la variedad Monastrell.....	14
--	----

Tabla 6. Valores medios, desviación estándar y ANOVA de los compuestos aromáticos liberados de sus precursores en función de la calidad del agua ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de uva) en uvas de la variedad Monastrell.....	15
---	----

Índice de figuras

Figura 1. Localización de la parcela de estudio (Fuente: Google Maps).....	6
Figura 2. Disposición de los tratamientos experimentales en Fuente Álamo	7
Figura 3 Evolución del peso unitario de las bayas, para cada uno de los tratamientos de riego. Los valores son promedios de cada uno de los tres muestreos de 100 bayas por tratamiento.T1: Secano; T2, T3 y T4: Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); T5 y T6: Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia). Calidad del agua (T2: buena; sulfatos: T3 y T5; cloruros: T4 y T6).....	10
Figura 4. Evolución del contenido de sólidos solubles totales durante la maduración expresada como °Brix, para cada uno de los tratamientos. T1: Secano; T2, T3 y T4: Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); T5 y T6: Irrigación PE-V (desde post envero ha.....	10
Figura 5. Concentración de 1-propanol, 1-butanol y 2-feniletanol en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}*\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).	17
Figura 6. Concentración de ácido benzoico, 3-hidroxibenzaldehído, benzaldehído y 4-benzilalcohol en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}*\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).....	18
Figura 7. . Concentración de ácido isobutírico, ácido butírico y 2-etil ácido hexanoico en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}*\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).....	19
Figura 8. Concentración de 4-vinilfenol, guayacol y 4-etilfenol en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}*\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).	20
Figura 9. Concentración de β -damascenona y α -ionona en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}*\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).	21
Figura 10. Concentración de decalactona en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}*\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).....	21

Figura 11. Concentración de vainillina en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia)..... 22

Figura 12. Análisis de los componentes principales para el factor período de riego. Representación de loadings en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2.23

Figura 13. Análisis de los componentes principales. Representación de scores en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2 en función del período de riego..... 23

Figura 14. Análisis de los componentes principales para el factor calidad del agua de riego. Representación de loadings en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2.25

Figura 15. Análisis de los componentes principales. Representación de scores en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2 en función de la calidad del agua de riego. 25

1. INTRODUCCIÓN

Los granos de uva se agrupan en racimos unidos por el raspón o escobajo por pedicelos individuales a través de los cuales se nutre la baya. Según la variedad y las condiciones de cultivo la proporción en peso tanto del raspón como de las bayas varía.

El raspón tiene como función el soporte físico de las bayas y el transporte de los nutrientes. Está formado por agua, clorofila, ácidos tartárico y málico, sustancias nitrogenadas, poliósidos y sales minerales. A medida que avanza la maduración del racimo, el raspón pierde agua y ácidos lignificándose progresivamente. Dicha lignificación conlleva una polimerización de los taninos formándose los llamados taninos nobles.

La baya está compuesta de hollejo, pulpa y pepitas. La forma del grano varía según la variedad, pero en general, es esférica, aunque también se encuentran en forma ovalada y picuda. Según *Hidalgo (2002)* la proporción de las bayas es la siguiente: raspón 5%; hollejo 7%; pulpa 84%; y pepitas 4%. Los rendimientos del mosto pueden oscilar entre un 60 y un 75% del peso total del racimo.

El hollejo es la piel de la baya y está formada por la cutícula, epidermis e hipodermis. La cutícula es una fina capa externa formada por la pruina (ácidos grasos oleico y oleanólico) que actúa como protección mecánica contra la desecación de la baya. Además cumple la importante función de sostén para las levaduras. Tanto la epidermis como la hipodermis están formadas por capas de células que contienen un 70-80% de agua, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos (flavonoles, ácidos benzoicos y cinámicos, flavanoles y antocianos), compuestos aromáticos, pectinas, poliósidos y sustancias nitrogenadas.

La pulpa aporta el agua (80 y 90% del volumen del vino) y compuestos mayoritarios del metabolismo primario como son los azúcares (glucosa y fructosa) y los ácidos orgánicos (ácido málico y tartárico fundamentalmente). De ella se extrae el mosto y contiene los azúcares que se transformarán en alcohol.

Las pepitas poseen una cubierta leñosa rodeada de una cutícula de taninos. La composición de las pepitas es: un 10-20% de materia grasa (aceite de semillas), 5-10% son taninos, un pequeño porcentaje de ácidos volátiles, sales ácidas, proteínas y ácidos. El número de pepitas que pueda haber por baya varía de entre dos y cuatro.

El hollejo y también la pulpa contribuyen al aroma del vino, el cual está determinado por cientos de metabolitos secundarios presentes en la baya, pero también por metabolitos y compuestos derivados de los procesos de extracción del mosto, de los procesos de fermentación y/o de los procesos de crianza en barrica.

El proceso de crecimiento y maduración de la baya desde el cuajado de la flor hasta la vendimia se divide en cuatro fases:

1. Fase herbácea va desde el cuajado de la flor hasta el envero. Durante esta fase las células del ovario de la flor se dividen para generar la estructura de la baya y se inicia el desarrollo de las semillas. También hay una acumulación de ácidos, compuestos fenólicos y aromáticos en la baya. Al final de esta fase los frutos son verdes y duros, alcanzando un tamaño reducido.

2. El envero, caracterizado principalmente por la acumulación de color (aparición de antocianos en variedad tintas).

3. Fase de maduración, comprende desde el envero hasta la madurez fisiológica. La baya aumenta su tamaño debido a la expansión celular asociada a la acumulación de agua y azúcares solubles. En esta fase aparecen los compuestos aromáticos, maduran los taninos y se sintetizan los antocianos.

4. Fase de sobre maduración, tras la madurez fisiológica, la uva comienza a perder agua por evaporación, concentrando azúcares y perdiendo acidez.

El riego de la vid puede alterar tanto la composición de la uva como la calidad del vino elaborado a partir de esta. Algunos estudios muestran que el déficit hídrico mejora las características sensoriales de los vinos, debido al incremento de aromas afrutados y al descenso de aromas vegetales (*Chapman et al., 2005*).

La vid, en general, es uno de los cultivos que menos aporte de agua necesita, de 280 a 300 mm de agua para formar un kilogramo de materia seca. Además, dispone de un sistema radicular profundo con un gran poder de succión de sus raíces. Sin embargo, la frecuencia de riego que precisa un viñedo depende de la etapa en la que se encuentre la planta. El consumo estacional se estima que es del siguiente orden: 2% en período invernal, 10% de la brotación al cuajado, 43% del cuajado al envero y 45% del envero a la caída de la hoja.

No se debe aplicar demasiada agua, ya que provocaría una superproducción, disminuyendo la calidad del fruto. La disponibilidad de agua por la planta debe limitarse a lo indispensable, utilizándose la técnica de “regulación del déficit hídrico (*RDI: Reguled Deficit Irrigation*)”, donde se pretende conseguir la máxima actividad fotosintética, con la aplicación de la menor cantidad de agua. Este punto está cercano a la marchitez, favoreciendo la maduración de la uva y reduciendo el tamaño de las bayas, mejorando de este modo la calidad de la vendimia. Adicionalmente se verán afectados procesos de respiración. Metabolitos, tales como ácidos y algunos compuestos aromáticos serán los más afectados. Se produce un aumento de los sólidos solubles y la acidez, una mayor acumulación de azúcares, una mayor síntesis de polifenoles en variedades tintas (*Romero et al., 2010*) y una mayor precocidad en el ciclo fenológico del viñedo, adelantándose por lo tanto a la maduración.

El período de floración y cuajado es muy sensible debido a que la abscisión de flores y/o frutos y la división celular están implicados. Un déficit hídrico en este momento dará lugar a una disminución del cuajado y del tamaño de las bayas. Después de la floración el consumo de agua crece fuertemente. A efectos del riego, el desarrollo de la baya se divide en dos periodos en función de su sensibilidad a la falta de agua. El más sensible es desde la floración hasta el envero, donde la falta de agua disminuye el tamaño de la baya y la producción de forma irreversible, y el post-envero, desde envero a vendimia donde la sensibilidad de la baya es menor que en el periodo anterior.

La vid puede vegetar en prácticamente cualquier tipo de terreno, salvo en los salinos. Se desarrolla mejor cuando la Conductividad Eléctrica (CE) es menor a $0,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ siendo poco tolerante a partir de una $\text{CE} < 2 \text{ a } 3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, ya que debe vencer el elevado potencial osmótico que producen las sales del suelo. Debe incrementar notablemente su actividad respiratoria para conseguir la energía necesaria.

La salinidad de estas aguas y las concentraciones de iones salinos específicos, como cloruros y sulfatos, son de suma importancia en relación con la estructura del suelo, el rendimiento de la vid y la composición de las bayas y el vino (*Laurenson et al., 2012; Netzer et al., 2014*). Generalmente la fitotoxicidad de la salinidad está atribuida a la sal Cloruro Sódico (*NaCl*) (*Fisarakis et al, 2001*).

Cuando se riegan viñedos por goteo con aguas salinas, es conveniente añadir una cantidad adicional de agua para el lavado de sales o fracción de lixiviación (FL) (Hidalgo and Hidalgo, 2011). Para el riego de viñedos por goteo, las aguas pueden clasificarse de la siguiente forma:

Tabla 1. Clasificación del agua de riego de la vid respecto su uso y la conductividad eléctrica. (Fuente: Hidalgo, 2011)

Conductividad Eléctrica (CE)(dS m ⁻¹)	Calidad del agua de riego
0 a 2 dS m ⁻¹	BUENA, se puede utilizar sin reservas.
2 a 4 dS m ⁻¹	REGULAR, se puede emplear sin problemas, aplicando un 10 a 20 por ciento más de agua para lavar las sales. Reducción de vendimia esperada del 10 a 15 por ciento.
4 a 6 dS m ⁻¹	MALA, no debe utilizarse de forma permanente. Aplicar un 20 a 30 por ciento más de agua de lavado. Reducción de cosecha esperada del 15 al 25 por ciento.
> 6 dS m ⁻¹	NO UTILIZABLE

La calidad del agua de riego se define en función de tres parámetros: salinidad, sodicidad y toxicidad. A diferencia de la salinidad, que es un problema externo de la planta y que dificulta la absorción de agua, la toxicidad es un problema interno que se produce cuando iones, absorbidos por las raíces, se acumulan en las hojas llegando a alcanzar concentraciones nocivas. Los iones más tóxicos son el cloro, sodio y boro.

El riego es utilizado para paliar el déficit hídrico, sin embargo, dicha irrigación a largo plazo puede producir la salinidad del suelo (Cramer et al., 2011). Una concentración de sal en el agua de riego inhibe el crecimiento de la planta de dos formas, la primera al limitar la absorción de agua, provocando un efecto osmótico o déficit hídrico que se origina al aumentar la concentración de solutos en el suelo; y la segunda, al condicionar la absorción iónica produciendo un daño en las células provocando un estrés iónico (Munns, 2002). Por consiguiente, con el paso del tiempo las raíces de la vid se verán enfrentadas a un aumento de la salinidad y un déficit hídrico que frenará su crecimiento dificultando el rendimiento de la vid y, por tanto, la sostenibilidad del viñedo.

Los aromas de las bayas de la uva están influenciados por la concentración y tipo de sal del agua del riego, ya que los precursores aromáticos son metabolizados en la planta y pertenecen al grupo de los aromas primarios o varietales (Bindon et al., 2013).

Los compuestos aromáticos procedentes de las uvas juegan un papel decisivo en la calidad y el carácter de los vinos (Canuti et al., 2009), constituyendo el “aroma varietal de los vinos”. Los compuestos volátiles que forman el aroma varietal se pueden clasificar en tres grandes grupos. El primero es el aroma varietal libre, constituido por las sustancias volátiles y odorantes presentes en la uva. El segundo está formado por los precursores varietales no volátiles ni odorantes (ligados a azúcares o cisteína) y los odorantes o no (dioles terpénicos, norisoprenoides). Al tercer grupo pertenecen los aromas pre-fermentativos, que pueden contribuir o no al aroma varietal (Belancic y Agosin, 2006).

El aroma de los vinos está constituido por unas 800 sustancias volátiles, muchas de estas sustancias tienen su origen en el aroma de la uva, que se compone por un gran número de compuestos volátiles tales como alcoholes, aldehídos, ésteres, ácidos, terpenos, tioles y compuestos carbonilo. Los hollejos son los que contienen más de la mitad del total de sustancias aromáticas y sus precursores (*Canuti et al., 2009*) mientras que la pulpa es una fuente importante de compuestos nitrogenados, no tan rica en sustancias aromáticas, aunque también acumula alcoholes, aldehídos y ésteres (*Hernandez-Orte et al., 2010*).

Los tipos de aromas de los vinos se pueden clasificar en tres tipos, atendiendo al momento de su formación, en la evolución de la uva y al vino ya formado. (*Cacho, 2003; Riu-Aumatell, 2005*). Las categorías son:

Aromas primarios, son los correspondientes a la cepa, los que depende del lugar del cultivo de esta. Son característicos de cada uno, ya que dependen del clima, suelo, zona riego y todo el conjunto de prácticas culturales. Los aromas característicos de este tipo son frutales, vegetales y florales. Estos aromas serán sobre los que se realice el estudio, ya que se analizan sobre las uvas tras su vendimia.

El resto de aromas son los llamados **Aromas secundarios y Aromas Terciarios**. Los secundarios correspondientes a los procesos de la fermentación del vino, tales como la fermentación alcohólica y maloláctica. Por otra parte los Aromas terciarios, o también conocidos como "*bouquet*", son los que se desarrollan durante la crianza en la bodega y en su posterior maduración en botella. Es una etapa de aromas muy complejos, ya que depende de la bodega y en las condiciones que estén almacenados.

La variedad Monastrell es la tercera más plantada en España, siendo originaria de la Comunidad Valenciana y Cataluña. Entre sus características agronómicas se encuentra la resistencia a la sequía. Tradicionalmente, la sequía ha sido considerada sinónimo de calidad. Pero, actualmente, y como consecuencia del cambio climático observado en los últimos años, los viticultores se ven obligados a regar sus viñedos. A pesar de la resistencia de la vid a la sequía, se requiere de una alimentación hídrica equilibrada y suficiente para manifestar todo el potencial, en especial cuando se habla de características cualitativas.

En Albacete, la vid es el cultivo principal, siendo la variedad *Monastrell* la más cultivada hasta la fecha. Se encuentra el perfecto hábitat para su desarrollo. El suelo es cretáceo, el duro clima y la escasa lluvia contribuyen a que la uva desarrolle sus máximas características de color, sabor y aroma. Es una de las Denominaciones de Origen más antiguas de España, con reglamento desde 1966. Abarca una amplia comarca en el sureste español, entre el norte de la región de Murcia (municipio de Jumilla) y parte de la provincia de Albacete. En Fuente Álamo es el lugar de la plantación del estudio. Agrupa en la actualidad a casi 40 bodegas, más de 4.000 viticultores y más de 25.000 hectáreas registradas de viñedo. Sus productos están garantizados por el Consejo Regulador de la *D.O. Jumilla*. El 40% de las hectáreas se encuentran situadas en el municipio de Jumilla.

2. OBJETIVOS

El cambio climático que se observa con el paso de los años, plantea restricciones en la utilización de agua, por lo que los retos más importantes que debe afrontar la industria vinícola, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, son el aumento de la sequía y la salinidad debido a la mayor evaporación y la disminución de la disponibilidad de agua (*Schultz y Stoll, 2010*). La reutilización del agua puede considerarse como una alternativa rentable en la agricultura. Esta práctica consiste en mezclar “agua de buena calidad” con una de otras características, un poco inferiores como puede ser que tengan un porcentaje de sales elevado.

El objetivo del trabajo es estudiar el efecto de la utilización de aguas no convencionales provenientes de la depuración de los vertidos municipales para reducir el déficit hídrico del suelo al que se ven sometidos los viñedos en secano, sobre la composición de la uva en el momento de la vendimia, analizándose la composición aromática de las uvas procedentes de los distintos protocolos de riego.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

Se ha partido de uvas de la variedad Monastrell procedentes de un viñedo situado en el término municipal de Fuente Álamo, Albacete (Figura 1). Dicho viñedo fue plantado en 2007, injertado sobre SO₄, con un marco de plantación de 3 m entre calles y 1,5 m entre cepas, aproximadamente 2.222 cepas ha⁻¹. El sistema de conducción es un cordón doble y la orientación de las filas Norte-Sur.

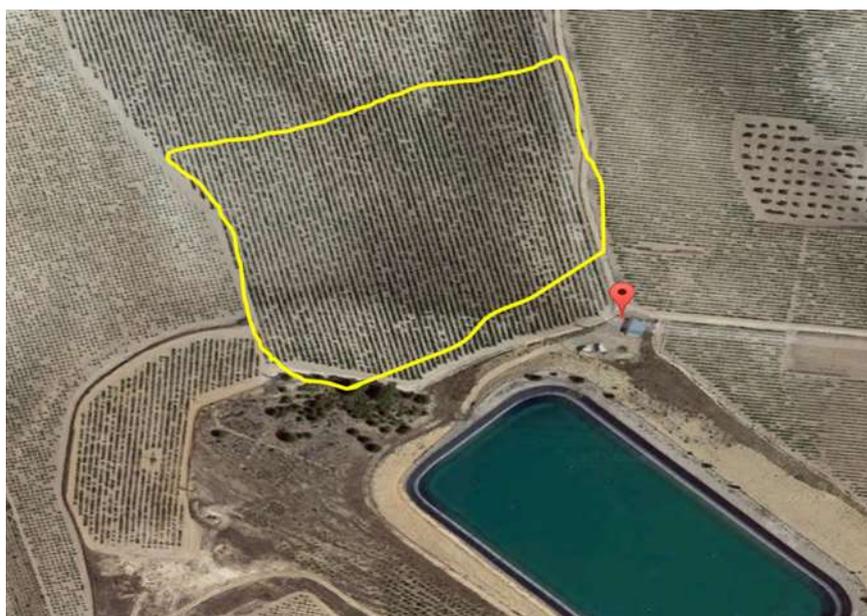


Figura 1. Localización de la parcela de estudio (Fuente: Google Maps)

3.2. Diseño experimental

En este viñedo se ha realizado un ensayo de riego con aguas de diferente calidad entre los años 2016 y 2018, siendo realizado el estudio con uva de la vendimia de 2016.

Las uvas utilizadas en la experiencia proceden de 6 tratamientos distintos en campo (Tabla 2). Estos tratamientos fueron aplicados en una misma parcela, delimitado 28 filas de 52 cepas cada una. Los tratamientos se dispondrán de tal modo que queden dos filas guarda y dos filas centrales de control. Cada repetición consta de 40 cepas (20 de ellas, cepas control). Se ha utilizado unas 1.100 cepas (Figura 2).

El muestreo se realizó durante la vendimia 2016, de cada tratamiento se han tomado unas 500 bayas, entre todos los racimos. El muestreo se realizó de forma aleatoria, procurando ser una muestra lo más representativa y equilibrada posible.

Las muestra fueron guardadas debidamente y trasladadas en recipientes isotérmicos, para mantener la temperatura inferior a 10°C durante el transporte desde la finca hasta el laboratorio. El mismo día, ya en el laboratorio, fueron contadas y pesadas las bayas. Fueron sometidas a pruebas de densidad, azúcares, etc. y una parte se reservó para el análisis de los precursores aromáticos. Se almacenaron en condiciones de -20°C en recipientes herméticos. Todas las determinaciones analíticas se realizaron por duplicado. Habiendo 24 muestras, se realizaron 48 análisis.

Tabla 2. Resumen detallado de los diferentes tratamientos aplicados a la parcela de estudio.

TRATAMIENTO	mm ³	CANTIDAD DE AGUA SUMINISTRADA	CALIDAD DEL AGUA
T1	0	Secano, sin riego	
T2	111,4	Riego deficitario, distribuido a partir de la floración	Agua de "buena calidad", sin efecto osmótico
T3	114,3	Riego deficitario, distribuido a partir de la floración	Agua con una conductividad eléctrica de 4 dS/m con base de sulfatos (Efecto osmótico)
T4	115	Riego deficitario, distribuido a partir de la floración	Agua con una conductividad eléctrica de 4 dS/m con base de cloruros (Efecto osmótico + fitotoxicidad de los cloruros)
T5	82,1	Riego deficitario, distribuido a partir del envero	Agua con una conductividad eléctrica de 4 dS/m con base de sulfatos (Efecto osmótico)
T6	81,2	Riego deficitario, distribuido a partir del envero	Agua con una conductividad eléctrica de 4 dS/m con base de cloruros (Efecto osmótico + fitotoxicidad de los cloruros)

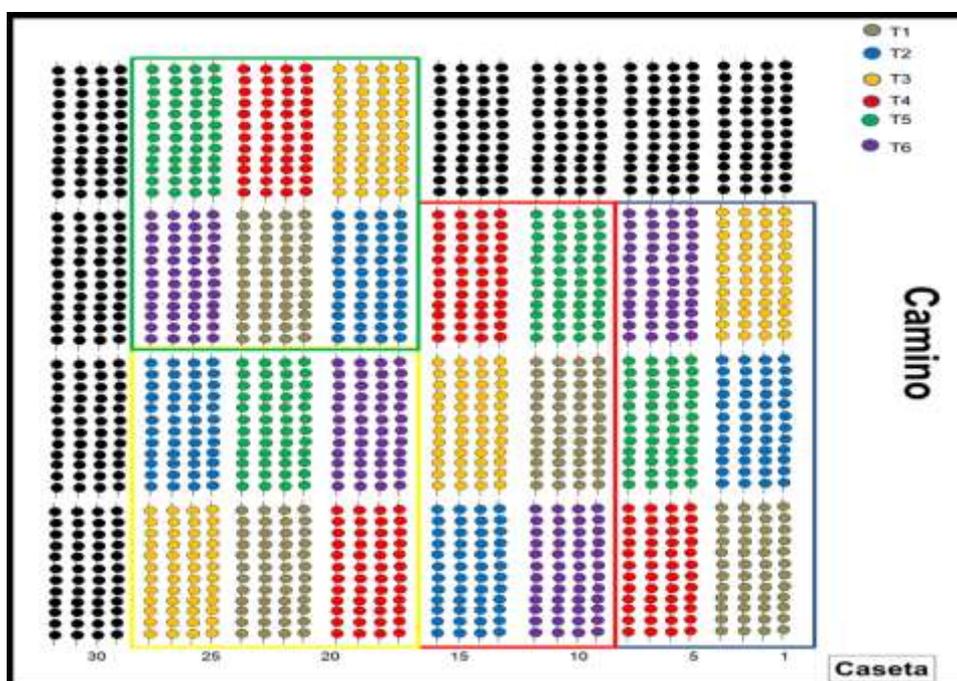


Figura 2. Disposición de los tratamientos experimentales en Fuente Álamo

3.3. Métodos analíticos

3.3.1. Madurez tecnológica

Los parámetros analíticos comunes como grado Brix, acidez total, pH, ácido tartárico y ácido málico se analizaron siguiendo los métodos que se recogen en el *Reglamento Oficial de la Unión Europea (OIV, 1990)*.

3.3.2. Precursores aromáticos

La metodología empleada para la extracción de los compuestos volátiles fue la propuesta por *Loscos et al., 2007*.

Para la preparación de las muestras se trituraron 100 g de uva en presencia de 10 mL de disolución de NaF y 0.7 mL de una disolución de ácido cítrico con agua miliQ. A continuación, se centrifugó en frío (10°C) a 1500 rpm durante 15 minutos. Por último, se llevó a cabo una filtración a vacío.

Los precursores aromáticos fueron extraídos mediante extracción en fase sólida con resinas LiChrolut EN. Los extractos obtenidos se disolvieron en 10 mL de tampón cítrico. Seguidamente se introdujeron en una estufa a 100°C durante 4 horas, tras lo cual se realizó una segunda extracción en fase sólida de los compuestos volátiles liberados por la hidrólisis.

Una vez efectuada la extracción de dos muestras de cada tratamiento, se procede a la determinación cromatográfica. Se realiza la inyección de 1 µL de cada extracto por duplicado en una columna capilar HP-INNOXWax (Crosslinked Polyethylene Glycol) de 60 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno, que está instalada en el cromatógrafo de gases HP-6890 dotado de detector de ionización de llama. Las condiciones en las que se ha trabajado para este tipo de determinación son las siguientes: temperatura del inyector y detector 270°C, relación Split de 1:25. La temperatura inicial es de 40°C y la final de 240°C, rampa de 2°C/min.

3.4. Tratamiento estadístico

Con los resultados obtenidos de los compuestos volátiles analizados en las uvas en ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) se realiza un análisis de la varianza simple (ANOVA) para evaluar el efecto de cada tratamiento y de la calidad del agua de riego. Para ello se hizo uso del programa informático STATGRAFICS CENTURION 15.1. El nivel de confianza utilizado fue del 95%. El análisis de Componentes Principales (PCA) se realizó con el programa Simca-P de Umetrics.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producción

En la Tabla 3 se muestra la producción por cepa del año 2016 de las uvas Monastrell en las parcelas donde se aplicaron los diferentes tratamientos del estudio. Se observa que la producción más baja se da en el T1 (secano) T3 y T5 (sulfatos), mientras que en las parcelas del T2 donde se regó con agua de buena calidad desde floración hasta vendimia las cepas dan la producción más alta (*Laurenson et al., 2012; Netzer et al., 2014*).

El riego con agua salina a base de sulfatos (T3 y T5) da lugar a una producción semejante al secano, y esto es debido a que se produce un efecto osmótico. Sin embargo, cuando se riega con agua salina a base de cloruros donde al efecto osmótico se añade el de fitotoxicidad, aumenta la producción por cepa casi 1 Kg respecto al secano (T1), aunque es menor que en el T2 con agua de buena calidad.

Tabla 3. Evolución de la producción de Monastrell del año 2016

Producción (Kg/cepa)	
Año 2016	
T1	3,84
T2	5,44
T3	3,96
T4	4,42
T5	3,58
T6	4,35

4.2. Seguimiento de la madurez tecnológica

4.2.1. Evolución del peso de la baya

En la Figura 3 se refleja la evolución del peso medio de la baya para cada uno de los tratamientos. Se observa que durante la maduración, en los tratamientos T1 y T2 hay un descenso del peso medio del grano de uva. En el resto de tratamientos ocurre lo mismo al principio, pero conforme avanza la maduración, se observa un ligero ascenso del peso medio de la baya. Esto tiene lugar en los tratamientos en los que se ha realizado un riego deficitario con agua con conductividad eléctrica de 4 dS/m con base de sulfatos o cloruros. En general, la cosecha desciende conforme lo hace la disponibilidad de agua, aunque la respuesta varía en función de la dosis de riego, las condiciones climáticas y el período de aplicación (*Risco et al., 2012*).

El mayor peso medio del grano final se registra en el tratamiento T2 correspondiente a riego desde envero a vendimia con agua de buena calidad.

Se observa que el menor peso medio de grano final se da en secano (T1) y con irrigación desde post envero hasta vendimia (T5 y T6). Después de la floración el consumo de agua crece fuertemente. A efectos del riego, el desarrollo de la baya se divide en dos periodos en función de su sensibilidad a la falta de agua. El más sensible es desde la floración hasta el envero, donde la falta de agua disminuye el tamaño de la baya como ocurre en este ensayo.

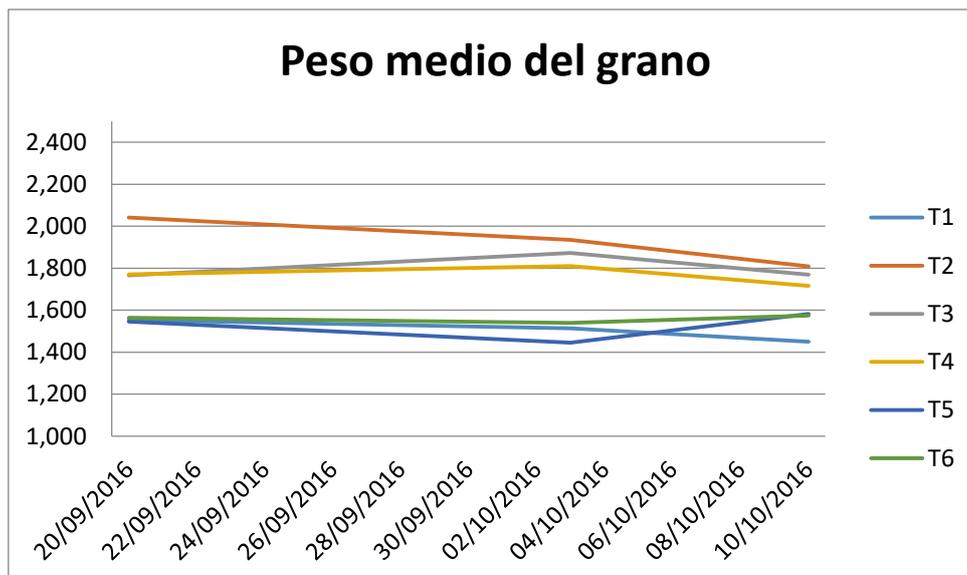


Figura 3 Evolución del peso unitario de las bayas, para cada uno de los tratamientos de riego. Los valores son promedios de cada uno de los tres muestreos de 100 bayas por tratamiento. T1: Secano; T2, T3 y T4: Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); T5 y T6: Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia). Calidad del agua (T2: buena; sulfatos: T3 y T5; cloruros: T4 y T6)

4.2.2. Contenido de sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales, normalmente expresados en Brix, son la medida más común para determinar la madurez de la uva. La concentración de azúcares en el grano de uva determina el contenido final de alcohol en el futuro vino y su influencia en el sabor.

La tendencia en el contenido de sólidos solubles totales es positiva desde el momento en el que se iniciaron las determinaciones en campo, sin observarse una diferenciación notable en el estado de maduración de los distintos tratamientos (Figura 4).

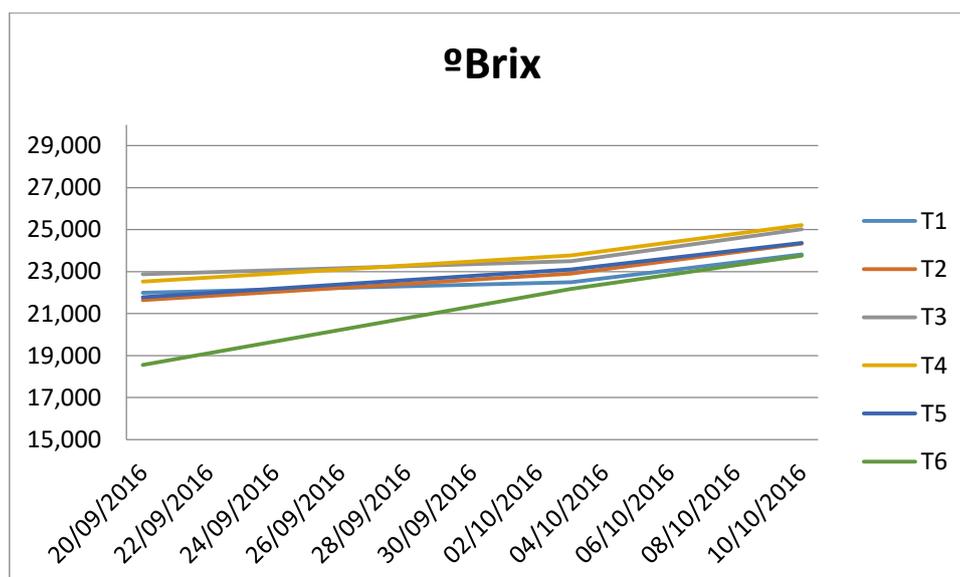


Figura 4. Evolución del contenido de sólidos solubles totales durante la maduración expresada como °Brix, para cada uno de los tratamientos. T1: Secano; T2, T3 y T4: Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); T5 y T6: Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia)

La Figura 4 muestra que durante el período estudiado las cepas con riego deficitario con CE de 4 dS/m con base de cloruros distribuido a partir de la floración (T4) fueron las que mayor concentración de sólidos solubles presentaron. Además, las cepas con aporte hídrico desde post envero a base de cloruros (T6) obtuvieron la menor concentración de sólidos solubles.

En los tratamientos correspondientes al período de irrigación desde la floración hasta la vendimia se observa una mayor concentración de sólidos solubles, mientras que en los tratamientos en los que el período de irrigación va desde el envero hasta la vendimia la concentración es menor. El correspondiente con el régimen de secano se encuentra entre ambos períodos.

El manejo del riego para obtener un menor grado alcohólico y la deshidratación de los granos es una práctica cultural que puede resultar interesante desde un punto de vista enológico. Aunque tradicionalmente en las vendimias se ha buscado un grado alcohólico alto, las tendencias del mercado han evolucionado hacia vinos más jóvenes, con menor contenido en alcohol y aromas más frescos y frutales.

4.2.3. Acidez total y pH

La acidez total y el pH son dos parámetros de gran importancia en lo que se refiere a la estabilidad del mosto y la crianza de los vinos, por lo que son parámetros usados como indicadores de calidad de la uva. Esto se debe a que la concentración de ácidos orgánicos no sólo contribuye al sabor ácido del mosto, sino que también influye en el consiguiente color del vino y en la estabilidad microbiana (*Boulton, 1980*). Cabe destacar que los vinos con un pH elevado son más susceptibles al crecimiento de microorganismos perjudiciales.

Las uvas contienen cantidades significativas de ácidos orgánicos. Los ácidos orgánicos mayoritarios en el mosto son tartárico, málico y cítrico. De estos tres, los ácidos tartárico y málico representan alrededor del 90% de los constituyentes ácidos del mosto. En general, mayores niveles de acidez en la uva se asocian con menores valores de pH y viceversa. Por tanto, los ácidos de la uva tienen una influencia significativa sobre el pH. También juegan un papel importante en el sabor, color y estabilidad microbiana del mosto.

En la Figura 5 se observa que la acidez total disminuye en los mostos procedentes de los tratamientos de secano (T1) y riego deficitario con agua de buena calidad (T2), mientras que en los obtenidos de uvas regadas con agua salina (T3, T4 T5 y T6) la acidez total al principio disminuye pero después tiende a aumentar.

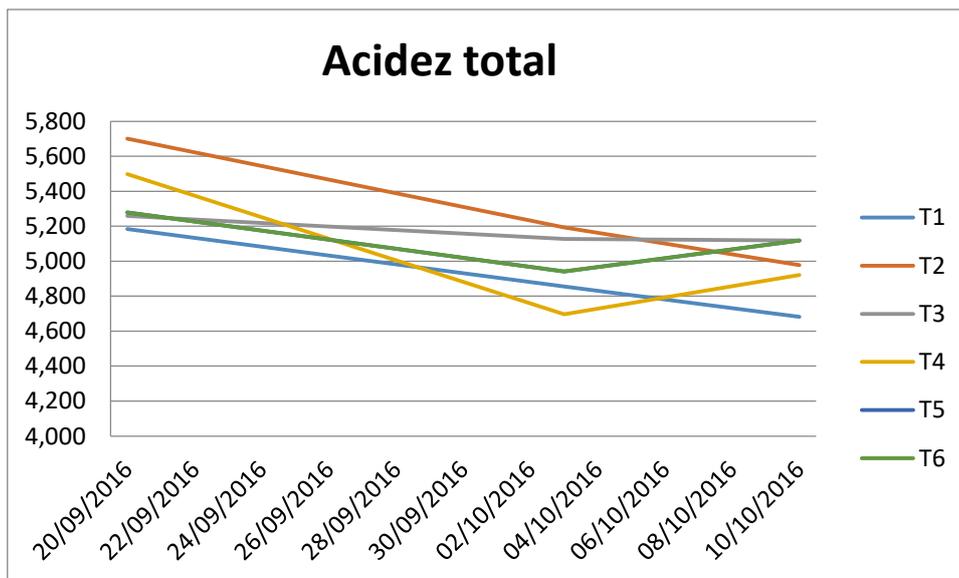


Figura 5. Evolución de la acidez durante la maduración expresada en g/L de ácido tartárico para cada uno de los tratamientos T1: Secano; T2, T3 y T4: Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); T5 y T6: Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia). Calidad del agua (T2: buena; sulfatos: T3 y T5; cloruros: T4 y T6)

En lo que se refiere al pH (Figura 6) se observa una variación a lo largo de la maduración. En general hay un ligero descenso, produciéndose después un aumento hasta la fecha de vendimia, alcanzando el mayor valor en el tratamiento T4 de riego deficitario distribuido a partir de la floración con agua de riego con una CE de 4 dS/m con base de cloruros.

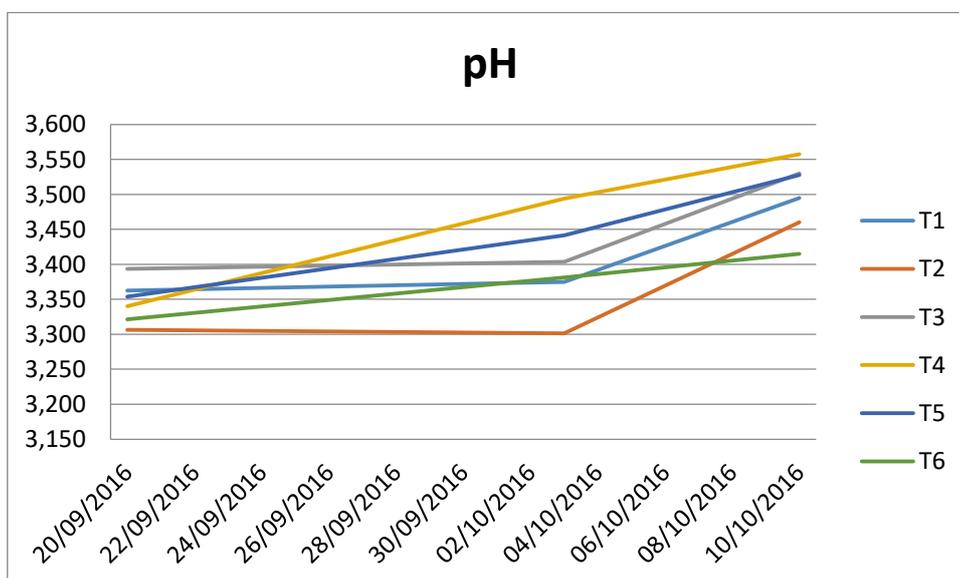


Figura 6. Evolución del pH del mosto durante el periodo de maduración para cada uno de los tratamientos. T1: Secano; T2, T3 y T4: Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); T5 y T6: Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia). Calidad del agua (T2: buena; sulfatos: T3 y T5; cloruros: T4 y T6)

4.3. Influencia del período de riego y la calidad del agua utilizada sobre los compuestos aromáticos

El aroma varietal está constituido por sustancias volátiles o libres y precursores del aroma los cuales se pueden dividir en precursores no volátiles y precursores odorantes.

La existencia en la uva de una fracción no volátil e inodora, capaz de ser revelada por vías químicas o enzimáticas fue demostrado por primera vez por *Cordonnier et al (1974)*. Los azúcares que forman estos precursores son glucosa, arabinosa, ramnosa y apiosa. Todas las variedades de *Vitis Vinifera* L. poseen este tipo de precursores, siendo la Moscatel la variedad más rica teniendo mayor concentración de precursores glicosilados que aromas libres.

Dichos precursores se van sintetizando conforme avanza la maduración de la uva, pero el momento óptimo de vendimia así como las prácticas culturales para conseguir una mayor concentración aún no se conoce con precisión.

Los compuestos aromáticos se encuentran fundamentalmente en los hollejos, por lo que los métodos y contacto con el hollejo y el mosto influirán en la extracción final de estos compuestos.

Se han realizado dos análisis de la varianza para evaluar el efecto del periodo de irrigación y de la calidad del agua (ya que hay interacción entre los dos factores) sobre la composición aromática de las uvas. El primer ANOVA corresponde con el momento y periodo de riego realizado en las parcelas de estudio. Este engloba 6 tratamientos. El primero (T1) seco es el testigo, segundo, tercero y cuarto (T2, T3 y T4) con irrigación desde floración hasta la vendimia y los 2 restantes (T5 y T6) tienen irrigación desde post-envero hasta la vendimia. Se ha realizado un análisis de la varianza para comprobar la correlación que puede haber entre estos tratamientos y los compuestos aromáticos de las uvas. El segundo ANOVA se ha realizado para saber cómo afecta la calidad del agua aportada a los compuestos aromáticos de la uva. El agua utilizada es de tipo salina con una Conductividad Eléctrica (CE) de 4.0 dS*m⁻¹ con base de cloruros y sulfatos respectivamente. Para este análisis la primera parcela (T1) no está incluida, ya que corresponde al seco. El tratamiento (T2) corresponde a las parcelas regadas con agua de buena calidad, se toma como testigo. Las correspondientes al agua con una conductividad eléctrica (CE) de 4.0 dS*m⁻¹ con base de cloruros son las parcelas T4 y T6. Y las correspondientes al agua con una conductividad eléctrica (CE) de 4.0 dS*m⁻¹ con base de sulfatos son las parcelas T3 y T5. Todo lo comentado queda resumido en la Tabla 4.

Tabla 4. Tratamientos aplicados y agrupación de los mismos para la realización del estudio

TRATAMIENTOS	
Análisis 1: Momento y período de riego	
Testigo	T1
Irrigación Floración → Vendimia	T2 T3 T4
Irrigación Post-Envero → Vendimia	T5 T6
Análisis 2: Calidad del agua aportada	
Buena	T2
Sulfatos	T3 T5
Cloruros	T4 T6

La Tabla 5 muestra las diferencias significativas entre las concentraciones de los compuestos aromáticos liberados de sus precursores en las uvas procedentes de los diferentes

tratamientos en los que se han aplicado diferentes estrategias de riego en cuanto al periodo de aplicación (Testigo: secano, F-V: riego desde floración hasta vendimia y PE-V: riego desde post-envero hasta vendimia). Se han analizado 27 precursores aromáticos, solo se han detectado 18. Como puede verse en la tabla, hay un efecto significativo sobre la mayoría de los compuestos estudiados.

Tabla 5. Valores medios, desviación estándar y ANOVA de los compuestos aromáticos liberados de sus precursores en función del periodo de irrigación ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de uva) en uvas de la variedad Monastrell.

COMPUESTOS	TESTIGO	IRRIGACIÓN F-V	IRRIGACIÓN PE-V	F-ratio	P-value
<i>ALCOHOLES</i>					
1-propanol	0,6282±0,2461b	0,3624±0,1084a	0,3852±0,1441a	9,93	0,0003
1-butanol	0,7055±0,1075a	0,4776±0,1669a	0,5018±0,1234a	1,00	0,3767
2 feniletanol	2,2205±0,5374a	4,2042±0,7313c	3,1827±0,4441b	34,57	<0,001
1-heptanol	nd	nd	nd		
2-octanodiol	nd	nd	nd		
<i>BENCENOS</i>					
Benzaldehído	0,0000±0,0000a	0,3506±0,1531c	0,1251±0,1327b	26,34	<0,001
4 benzialcohol	1,2460±0,2480a	2,3997±0,5893b	2,4197±1,3299b	5,80	0,0004
Ác. Benzoico	0,0525±0,0202a	0,3062±0,2717b	0,2614±0,2541bc	3,29	0,0466
3-hidroxi-benzaldehído	0,0481±0,0152a	0,5347±0,1499b	0,4935±0,1807b	33,25	<0,001
<i>ÁCIDOS</i>					
Ác. Isobutírico	0,5175±0,2595b	0,3870±0,0816a	0,3213±0,0645a	6,73	0,0028
Ác. Butírico	0,6198±0,2778a	1,7755±1,2604b	2,6600±1,4006c	7,68	0,0013
2-etil ác. Hexanoico	1,3882±0,5903c	0,8989±0,1501b	0,5107±0,3000a	22,03	<0,001
Ác. Hexanoico	nd	nd	nd		
Ác. Octanoico	nd	nd	nd		
<i>TERPERNOS</i>					
Eugenol	0,0470±0,0185a	0,2320±0,1125b	0,1203±0,0804a	14,49	<0,001
Nerol	nd	nd	nd		
Linalol	nd	nd	nd		
Terpineol	nd	nd	nd		
<i>FENOLES VOLÁTILES</i>					
4-vinilfenol	3,5255±1,5098a	1,2473±2,1316a	10,5861±5,5919b	32,50	<0,001
Guayacol	0,4357±0,0724b	0,2758±0,1832a	0,5355±0,0651a	17,24	<0,001
4-etilfenol	0,0032±0,0003a	1,0027±1,0457b	0,1704±0,1488a	8,49	0,0007
4-etilguayacol	nd	nd	nd		
<i>NORISOPRENOIDES</i>					
β -damascenona	3,3303±0,8439b	2,2521±1,0900a	2,3867±0,5596a	4,36	<0,001
α -ionona	0,0391±0,0097a	0,2307±0,1373b	0,3675±0,1077c	21,61	<0,001
<i>LACTONAS</i>					
Decalactona	0,2133±0,0098a	0,3004±0,1321b	0,1780±0,0501a	7,85	0,0012
Pantalactona	nd	nd	nd		
<i>DERIVADOS VAINILLICOS</i>					
Vainillina	0,0956±0,0274a	0,4115±0,1607b	0,5521±0,2222c	18,70	<0,001

Las letras distintas en la misma fila indican la existencia de diferencia significativas al 95%. (nd: no detectado). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia)

En la Tabla 6 se muestran los resultados del efecto de la calidad del agua sobre la composición aromática de las uvas de Monastrell; correspondiente a "Agua de Buena calidad", "Agua Salina" con una Conductividad Eléctrica (CE) de 4.0 dS*m⁻¹ con base de cloruros para

analizar el efecto de la fitotoxicidad cloruros y “Agua Salina” con una Conductividad Eléctrica (CE) de 4.0 dS*m⁻¹ con base de cloruros para analizar el efecto de la fitotoxicidad sulfatos. En este caso también se observa un efecto significativo de la calidad del agua utilizada en el riego sobre la composición aromática de las uvas.

Tabla 6. Valores medios, desviación estándar y ANOVA de los compuestos aromáticos liberados de sus precursores en función de la calidad del agua (µg/kg de uva) en uvas de la variedad Monastrell.

COMPUESTOS	BUENA	SULFATOS	CLORUROS	F-ratio	P-value
<i>ALCOHOLES</i>					
1-propanol	0,2619±0,0328a	0,3777±0,1456b	0,4201±0,0921b	5,50	0,0081
1-butanol	0,4425±0,0835a	0,4686±0,1879a	0,5285±0,1833a	0,74	0,4848
2-feniletanol	3,9973±0,2785a	3,5920±0,3112a	3,8983±1,2145a	0,89	0,4203
1 heptanol	nd	nd	nd		
2 octanodiol	nd	nd	nd		
<i>BENCENOS</i>					
Benzaldehído	0,3588±0,2193b	0,3504±0,1130b	0,1212±0,1281a	12,36	0,0001
4-benzialcohol	1,7504±0,2123a	3,0622±1,0713b	2,0819±0,5763a	9,87	0,0004
Ác. Benzoico	0,4776±0,2716b	0,3297±0,2368b	0,1522±0,2187a	5,44	0,0085
3-hidroxi-benzaldehído	0,5286±0,2154a	0,5359±0,1875a	0,4955±0,1022a	0,26	0,7732
<i>ÁCIDOS</i>					
Ác. Isobutírico	0,4511±0,1131c	0,3080±0,0435a	0,3683±0,0434b	14,00	<0,001
Ác. Butírico	1,1789±0,2068a	1,4047±1,0406a	3,3292±1,1035b	20,55	<0,001
2-etil ác. Hexanoico	0,8028±0,1151a	0,6547±0,4337a	0,8030±0,1127a	1,26	0,2962
Ác. Hexanoico	nd	nd	nd		
Ác. Octanoico	nd	nd	nd		
<i>TERPERNOS</i>					
Eugenol	0,1192±0,0374a	0,2751±0,1139b	0,1336±0,0804a	12,67	0,0001
Nerol	nd	nd	nd		
Linalol	nd	nd	nd		
Terpineol	nd	nd	nd		
<i>FENOLES VOLÁTILES</i>					
4-vinilfenol	3,7420±2,0642a	4,8650±6,1518a	5,7211±7,2665a	0,28	0,7551
Guayacol	0,3132±0,0542a	0,5239±0,0566b	0,2688±0,2380a	11,38	0,0001
4-etilfenol	2,3686±0,5832c	0,3485±0,1614b	0,1416±0,1034a	184,25	<0,001
4-etilguayacol	nd	nd	nd		
<i>NORISOPRENOIDES</i>					
β-damascenona	1,6139±0,2134a	1,8328±0,4402a	3,1251±0,8495b	23,89	<0,001
α-ionona	0,0504±0,0104a	0,3221±0,0534b	0,3663±0,1083b	47,89	<0,001
<i>LACTONAS</i>					
Decalactona	0,4148±0,1308c	0,2732±0,0629b	0,1480±0,0276a	38,05	<0,001
Pantalactona	nd	nd	nd		
<i>DERIVADOS VAINILLICOS</i>					
Vainillina	0,3053±0,0988a	0,6049±0,2193b	0,4118±0,1075a	10,80	0,0002

Las letras distintas en la misma fila indican la existencia de diferencia significativas al 95%. (nd: no detectado). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post envero hasta vendimia)

Para visualizar mejor los resultados y sus diferencias significativas, se han representado mediante diagramas de barras los compuestos aromáticos que se encuentran en las uvas según las diferentes familias. Para cada compuesto se han representado los dos factores objeto del estudio: periodo de aplicación del agua de riego y calidad del agua aportada en el riego.

Alcoholes

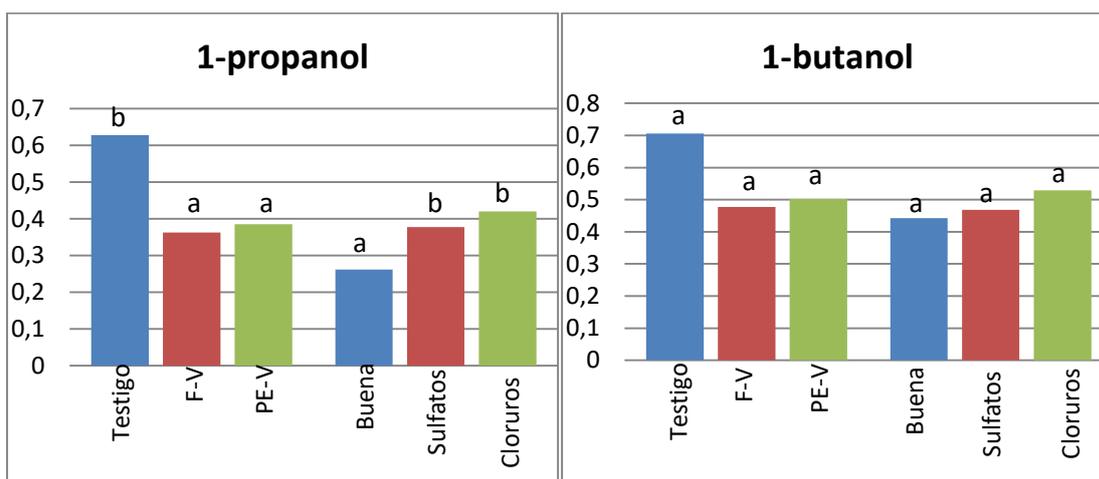
Los precursores de los alcoholes se encuentran en los hollejos de las uvas (*Loscos et al. 2007*). Son constituyentes pre-fermentativos, obtenidos a partir de los fenómenos bioquímicos de oxidación e hidrólisis durante la extracción del mosto y durante la maceración. Son responsables de aromas herbáceos (*Belancic et al. 2002*).

Esta familia es la más importante entre los volátiles desde el punto de vista cuantitativo, distinguiéndose entre alcoholes mayoritarios (1-propanol, 2-feniletanol) y alcoholes minoritarios (1-butanol, 1-heptanol), de los cuales solo se han detectado tres.

En lo que se refiere al período de irrigación, el 1-propanol aumenta significativamente en las uvas procedentes del T1 (secano) respecto a las uvas irrigadas. No hay diferencias cuando el riego se aplica desde floración o desde post-verano. En el caso del 2-feniletanol, presenta diferencias significativas entre los tres tratamientos que afectan al periodo de irrigación, siendo la concentración mayor en el caso del de riego desde floración a vendimia (Figura 5). Esto es importante porque este compuesto aporta aromas frutales dulces, a rosas y está presente en las partes más superficiales de los hollejos (*Esteban, 2011*).

Con respecto a la calidad del agua, no afecta significativamente a la concentración de 1 butanol y de 2-feniletanol, sin embargo el 1-propanol disminuye significativamente en las uvas regadas con agua de buena calidad.

Se puede observar que en el caso del 1-butanol no se han encontrado diferencias significativas ni para el período de irrigación ni para la calidad del agua de riego utilizada.



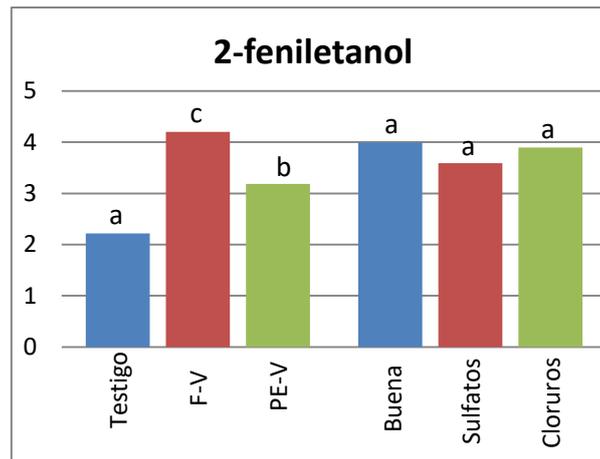


Figura 5. Concentración de 1-propanol, 1-butanol y 2-feniletanol en uvas con los distintos tratamientos de riego (µg*Kg-1). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).

Bencenos

La familia de los Bencenos se caracteriza porque los compuestos que la forman tienen un anillo aromático de benceno en su formulación. El benceno es un hidrocarburo aromático de fórmula molecular C_6H_6 . Dentro del grupo de los bencenos se han cuantificado el benzaldehído, 4-benzilalcohol, ácido benzoico, 3-hidrocibenzaldehído.

Los resultados muestran (Figura 6) que todos los bencenos disminuyen significativamente en las uvas procedentes del secano frente a las uvas regadas.

En cuanto a la calidad del agua, existen diferencias significativas en todos los compuestos excepto en el 3-hidroxibenzaldehído. El agua salina a base de cloruros, produce una menor concentración de benzaldehído y de ácido benzoico, y el agua con base de sulfatos aumenta la concentración de 4 benzilalcohol en las uvas.

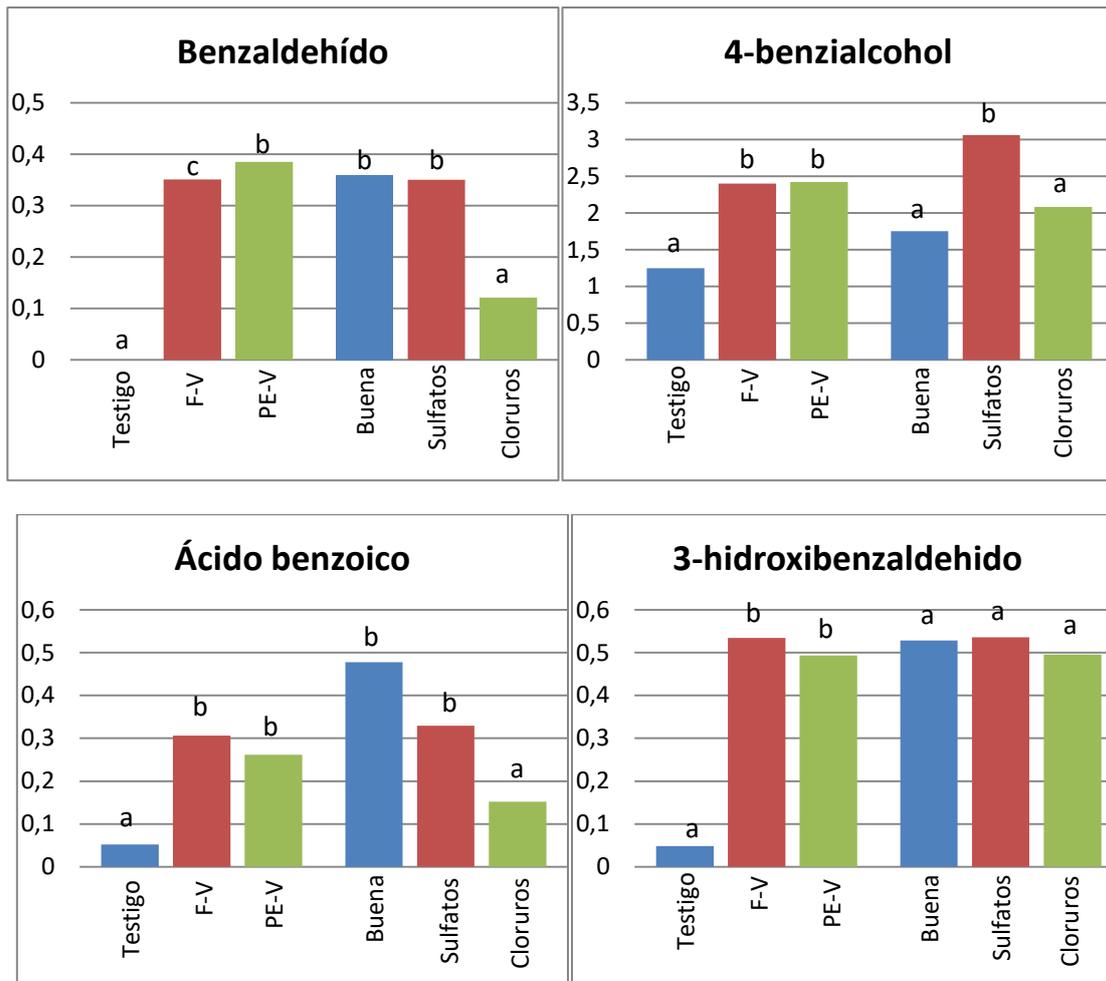


Figura 6. Concentración de ácido benzoico, 3-hidroxibenzaldehido, benzaldehído y 4-benzialcohol en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).

Ácidos

Las concentraciones de los ácidos isobutírico y 2-etilhexanoico son mayores significativamente en las uvas obtenidas con el tratamiento testigo de secano respecto a los tratamientos con riego tanto desde floración como desde post envero (Figura 7).

Como muestra la Figura 7 se han encontrado diferencias significativas en la concentración de los ácidos butírico y 2-etil hexanoico entre los tres tratamientos correspondientes al periodo de irrigación, aumentando considerablemente su concentración con el riego después del envero, en el caso del primero y en secano para el segundo. En lo que respecta al ácido isobutírico, aumenta su concentración en las uvas procedentes del tratamiento de secano.

Respecto al efecto de la calidad del agua, existen diferencias significativas entre los tres tipos de agua de riego utilizada para el ácido isobutírico, presentando las uvas no regadas una mayor concentración. En el caso del ácido butírico, su concentración aumenta significativamente cuando se utiliza para regar agua salina con una Conductividad Eléctrica (CE) de $4.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con base de cloruros.

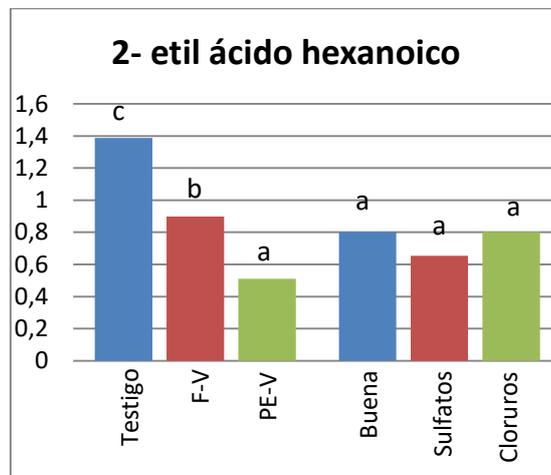
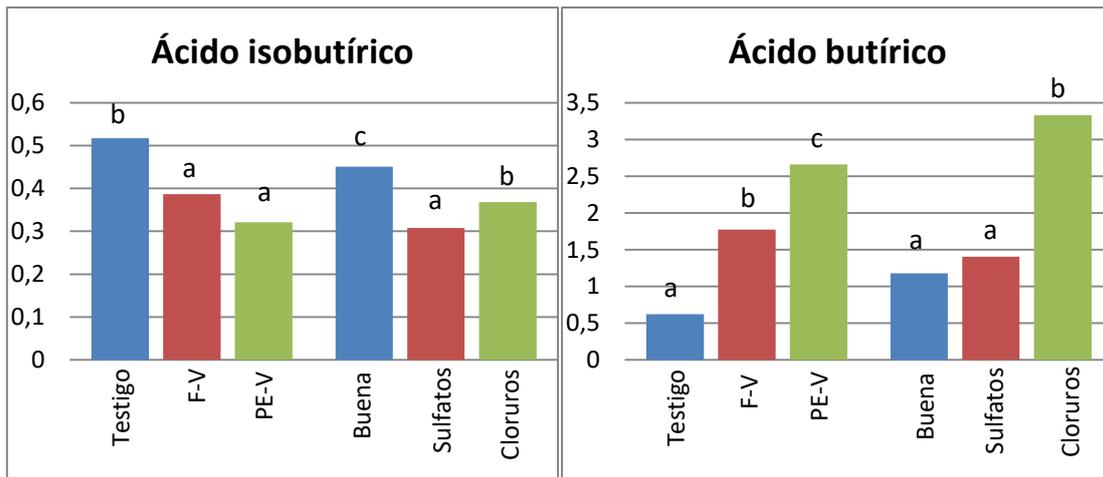


Figura 7. Concentración de ácido isobutírico, ácido butírico y 2-etil ácido hexanoico en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-enero hasta vendimia).

Fenoles volátiles

Los precursores de los fenoles volátiles se encuentran en la uva. En la Figura 8 se observa que la concentración de 4 vinilfenol es mucho menor en las uvas con aporte de agua desde el post-enero hasta la vendimia con respecto a las uvas en régimen de secano y las regadas desde la floración hasta la vendimia, siendo este efecto significativo. También se encuentran diferencias significativas en la concentración de guayacol, siendo mayor en las uvas en secano y en período de irrigación entre el post-enero hasta la vendimia con respecto a las uvas regadas entre la floración y la vendimia. El 4-etilfenol y el eugenol aumentan en las uvas con riego de floración a vendimia y este efecto es significativo respecto a las uvas en secano y con riego desde el post enero.

Por otra parte, en relación a la calidad del agua, la concentración de guayacol y de eugenol es mayor en las uvas regadas con agua salina con base de sulfatos, siendo este efecto significativo con respecto a los otros dos tipos de agua. En cambio, en el caso del 4-etilfenol se observan diferencias significativas entre los tres tipos de agua, siendo la concentración mucho mayor en uvas regadas con agua de buena calidad. Para el 4-vinilfenol no se han encontrado diferencias significativas.

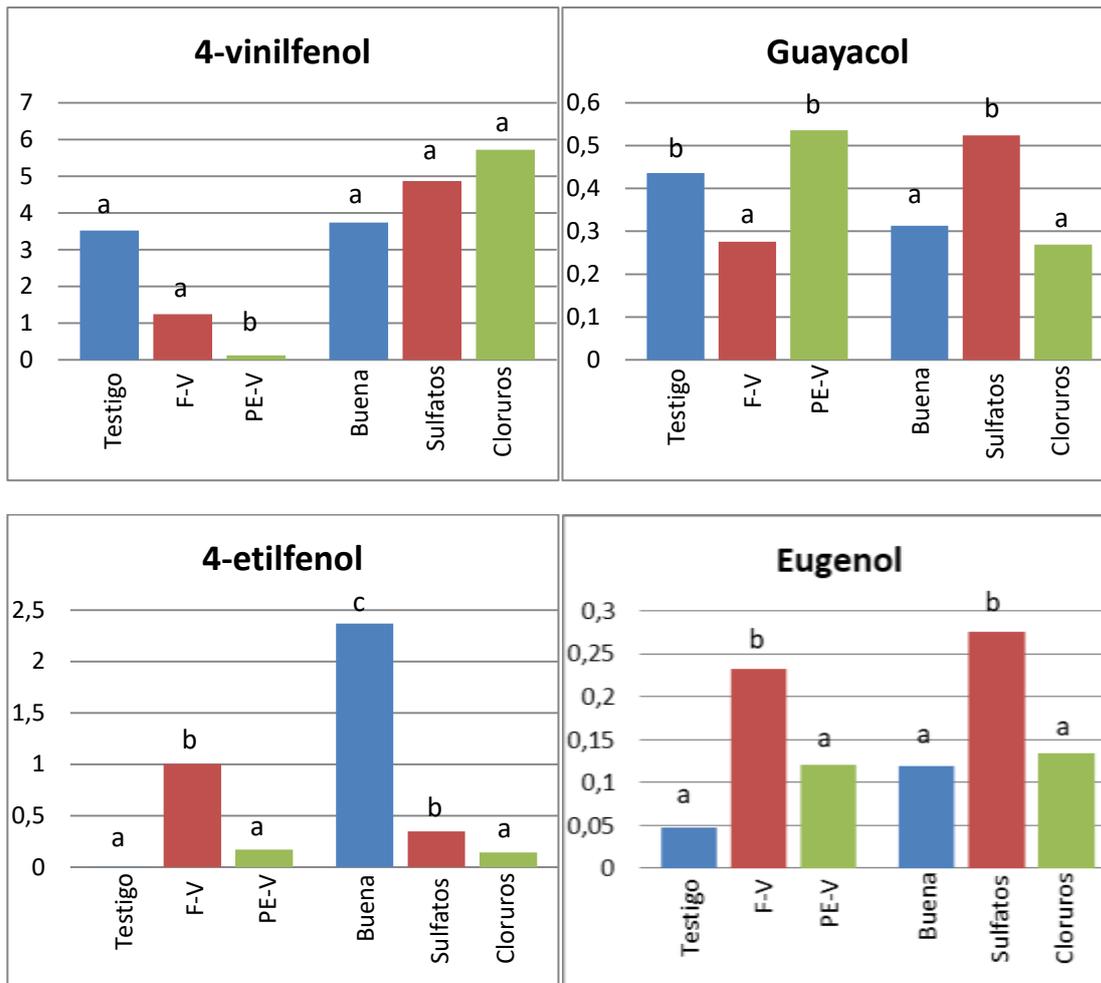


Figura 8. Concentración de 4-vinilfenol, guayacol y 4-etilfenol en uvas con los distintos tratamientos de riego ($\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia).

Norisoprenoides

Los norisoprenoides proceden de la degradación de los carotenoides, los cuales se sintetizan desde la primera etapa de formación del fruto hasta el envero. A partir de este momento se degradan para dar norisoprenoides siendo los más abundantes, β -damascenona y α -ionona.

Como muestra la Figura 9, se han encontrado diferencias significativas en la concentración de estos compuestos en las uvas procedentes de las diferentes estrategias de riego ensayadas, siendo la concentración mayor en las uvas de secano, para la β -damascenona, y en las uvas regadas desde el post-envero a la vendimia en el caso de la α -ionona. En relación con la calidad del agua, la mayor concentración se encuentra en las uvas procedentes del tratamiento con agua de riego con base de cloruros para la β -damascenona, y con agua de riego con base de cloruros y de sulfatos para el compuesto α -ionona.

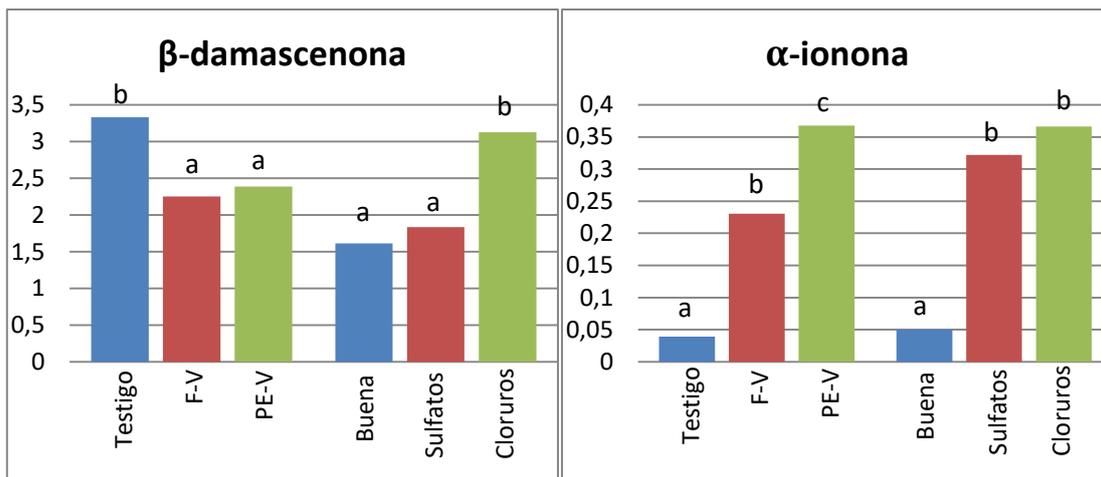


Figura 9. Concentración de β-damascenona y α-ionona en uvas con los distintos tratamientos de riego (μg*Kg-1). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-enero hasta vendimia).

Lactonas

La fuente más importante para estos compuestos en el vino son los precursores de la uva debido a que las levaduras no forman estos compuestos en ausencia de precursores específicos. Dentro de este grupo se encuentran componentes que pueden llegar a ser importantes para el aroma del vino.

Como se observa en la figura 10 la concentración de decalactona en las uvas es semejante en el régimen de secano y en el riego desde post-enero a vendimia, sin embargo aumenta significativamente cuando se riega entre floración y vendimia. Según los resultados también se observa que hay un efecto significativo positivo cuando se utiliza agua de buena calidad respecto a las aguas salinas, siendo mejor el efecto del agua a base de sulfatos que de cloruros.

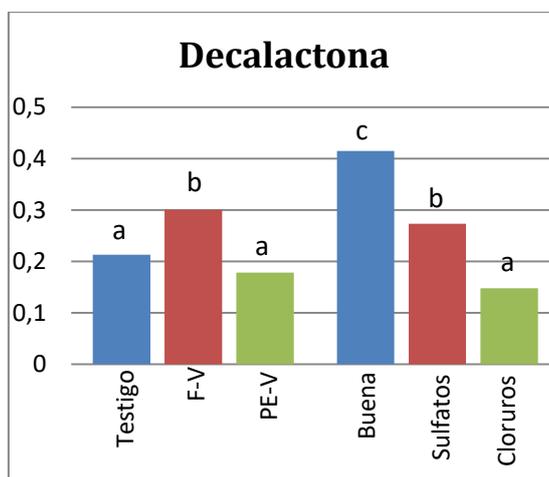


Figura 10. Concentración de decalactona en uvas con los distintos tratamientos de riego (μg*Kg-1). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-enero hasta vendimia)

Derivados vainílicos

En este grupo se encuentran los compuestos cuya presencia en el vino es mayor si se han sometido a un período de crianza. En este caso, las concentraciones de dichos compuestos serán menores debido a que las cantidades liberadas son debidas a la hidrólisis de sus precursores presentes en las uvas.

Como se observa en la Figura 11, el período de irrigación afecta significativamente al contenido de vainillina en las uvas estudiadas, siendo mayor la concentración en las uvas regadas desde post-envero a vendimia. En cuanto al efecto de la calidad del agua, se han encontrado diferencias significativas entre el agua de riego con base de sulfatos y el agua de riego de buena calidad y el agua con base de cloruros.

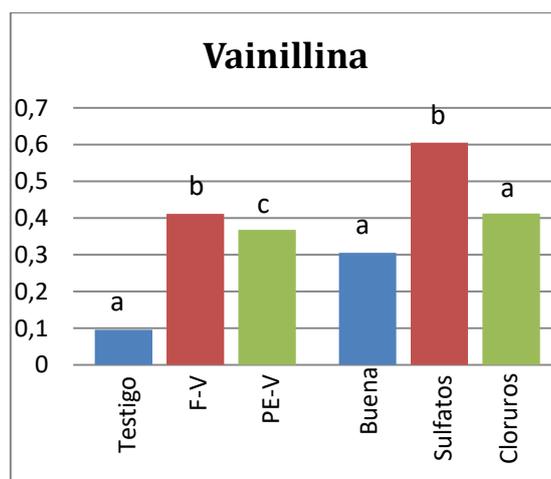


Figura 11. Concentración de vainillina en uvas con los distintos tratamientos de riego (µg*Kg⁻¹). Irrigación F-V (desde floración hasta vendimia); Irrigación PE-V (desde post-envero hasta vendimia)

4.4. Análisis de componentes principales

Se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA) con la finalidad de evaluar el efecto que, sobre la fracción volátil total, tiene la estrategia de riego (período de irrigación y calidad del agua).

Es uno de los métodos pioneros del análisis multivariante. Consiste en una reducción de la información disponible sobre el conjunto de individuos, en este caso las uvas de la variedad Monastrell objeto de estudio. El método condensa la matriz de correlaciones entre las variables en unos "componentes principales" de la variabilidad total. Es decir, permite transformar un conjunto de variables intercorrelacionadas con otro conjunto de variables no correlacionadas (componentes principales) que son combinación lineal de las variables originales.

En las Figuras 12 y 14 se muestra la disposición de los compuestos aromáticos en el plano, en función de los dos primeros ejes principales (Componente 1 y 2). Dichos compuestos se sitúan aleatoriamente a lo largo de los ejes principales, tanto en su parte positiva como en su parte negativa. En el primer caso, se trata del análisis de los componentes principales para el período de irrigación (Figura 12). En el segundo, se tiene en cuenta la calidad del agua utilizada (Figura 14). Se realiza por separado debido a que no se tiene en cuenta el tratamiento 1 en lo que se refiere a la calidad del agua utilizada en el riego y, tal y como se observa, la distribución de los compuestos aromáticos varía.

En las Figuras 13 y 15 se refleja la proyección de los resultados de los tratamientos realizados, período de irrigación y calidad del agua de riego utilizada en el estudio.

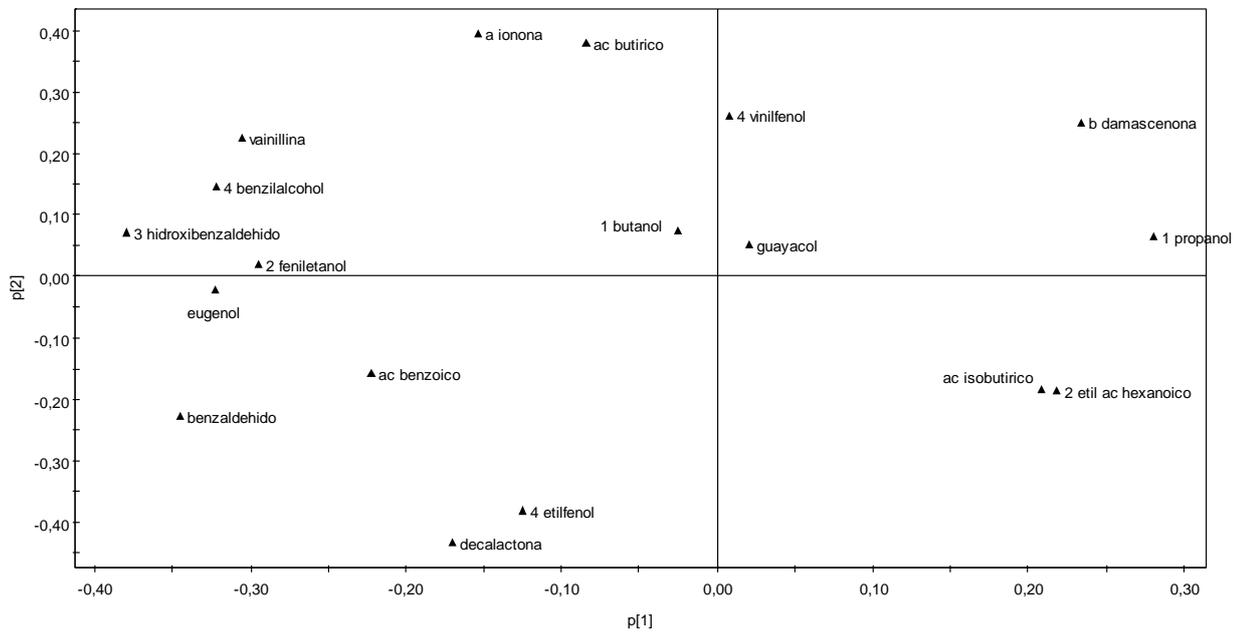


Figura 12. Análisis de los componentes principales para el factor período de riego. Representación de loadings en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2.

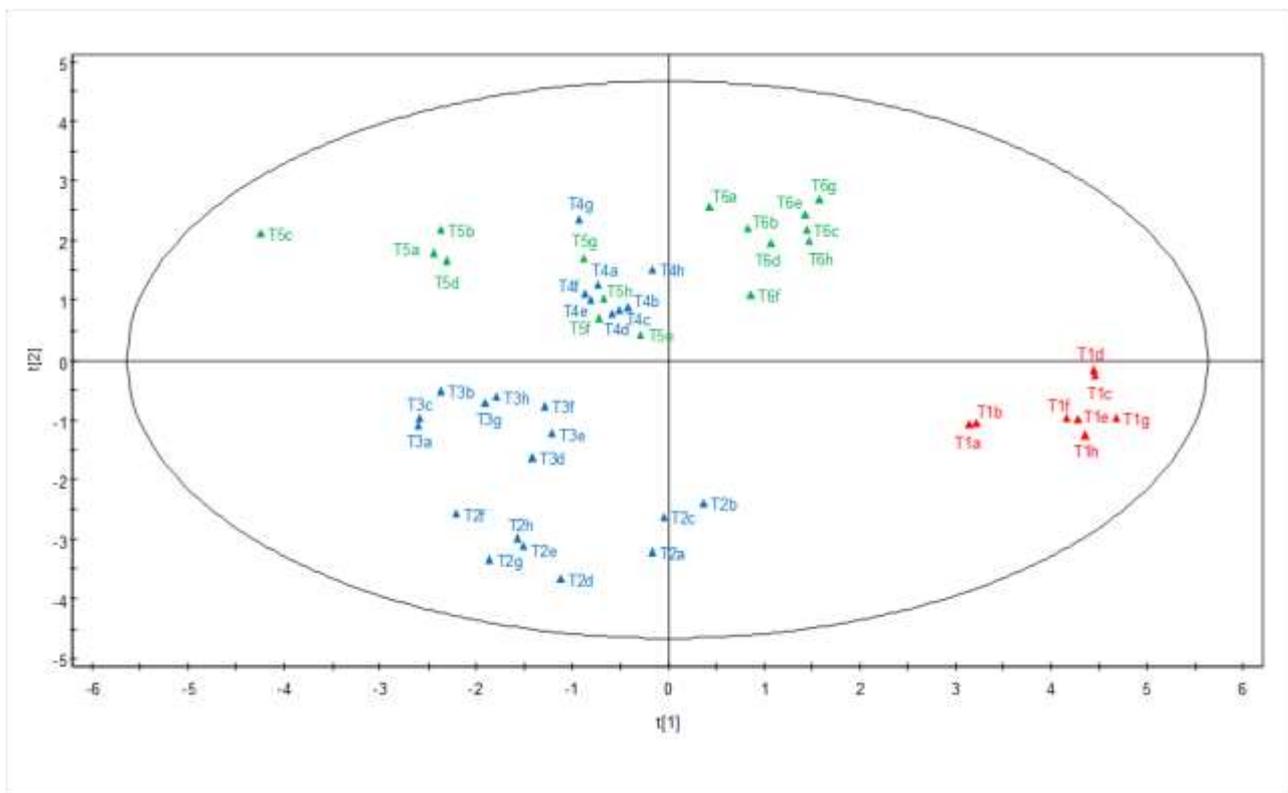


Figura 13. Análisis de los componentes principales. Representación de scores en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2 en función del período de riego.

En el gráfico de puntuaciones (Figura 13) la PC1 que es la que mejor explica la varianza total, permite diferenciar el T1 (secano) de los tratamientos de riego deficitario con aporte de agua durante toda la campaña (floración –vendimia) o desde post envero hasta vendimia. Observando el gráfico de loading, se aprecia que el T1 (secano) se relaciona con la mayor formación de ácido isobutírico, 2-etil ácido hexanoico y 1-propanol.

En cuanto al riego entre la floración y la vendimia (T2, T3 y T4), no tan diferenciado, se sitúa tanto en la zona positiva del primer como del segundo eje principal, relacionado con los compuestos aromáticos como ácido benzoico, 4-etilfenol, 1-butanol y benzaldehído.

Finalmente, las muestras de riego desde post-envero hasta vendimia (T5 y T6) se sitúan tanto en la zona positiva como en la negativa del eje principal y negativa del segundo eje principal. Es decir, que dichas uvas contienen mayor cantidad de compuestos aromáticos tales como alcoholes (butanol, feniletanol), vainillina, bencenos (4-benzialcohol, 3-hidroxibenzaldehído), fenoles volátiles (guayacol, 4-vinilfenol) y norisoprenoides (α -ionona).

La PC2 permite separar las muestras teniendo en cuenta el momento de aplicación del agua, durante toda la campaña desde el envero a vendimia o desde el post-envero a vendimia, salvo para el T4 que aun siendo regado toda la campaña se sitúa entre las muestras regadas únicamente desde el envero como muestra la Figura 13.

En la Figura 15, se observa que la PC1 permite diferenciar las uvas regadas con agua de buena calidad de las regadas con agua salina, sobre todo desde el post-envero. La distribución según la calidad del agua de riego utilizada presenta diferencias, claramente marcadas, entre el agua de buena calidad, el agua salina con una conductividad Eléctrica (CE) de 4.0 dS*m⁻¹ con base de cloruros y con base de sulfatos. Las uvas regadas con agua de buena calidad (T2) se sitúan tanto en la zona negativa del primer, como del segundo eje principal, conteniendo 4-etilfenol, 2-etil ácido hexanoico, 2-feniletanol y ácido isobutírico.

La PC2 separa claramente las uvas regadas con agua salina a base de sulfatos de las regadas con agua salina a base de cloruros. En el caso del agua salina con base de cloruros (T4 y T6) se sitúa en la zona negativa del primer eje principal. Esto indica que contiene mayor cantidad de 1-propanol, ácido butírico y β -damascenona. Para el agua salina con base de sulfatos (T3 y T5) los tratamientos se distribuyen en la zona positiva del primer eje principal y en la negativa del segundo. Por consiguiente las uvas regadas con el agua mencionada presentan grandes cantidades de compuestos aromáticos como terpenos (eugenol), vainillina, alcoholes (butanol), bencenos (benzaldehído, 3-hidroxibenzaldehído) y fenoles volátiles (4 vinilfenol, guayacol).

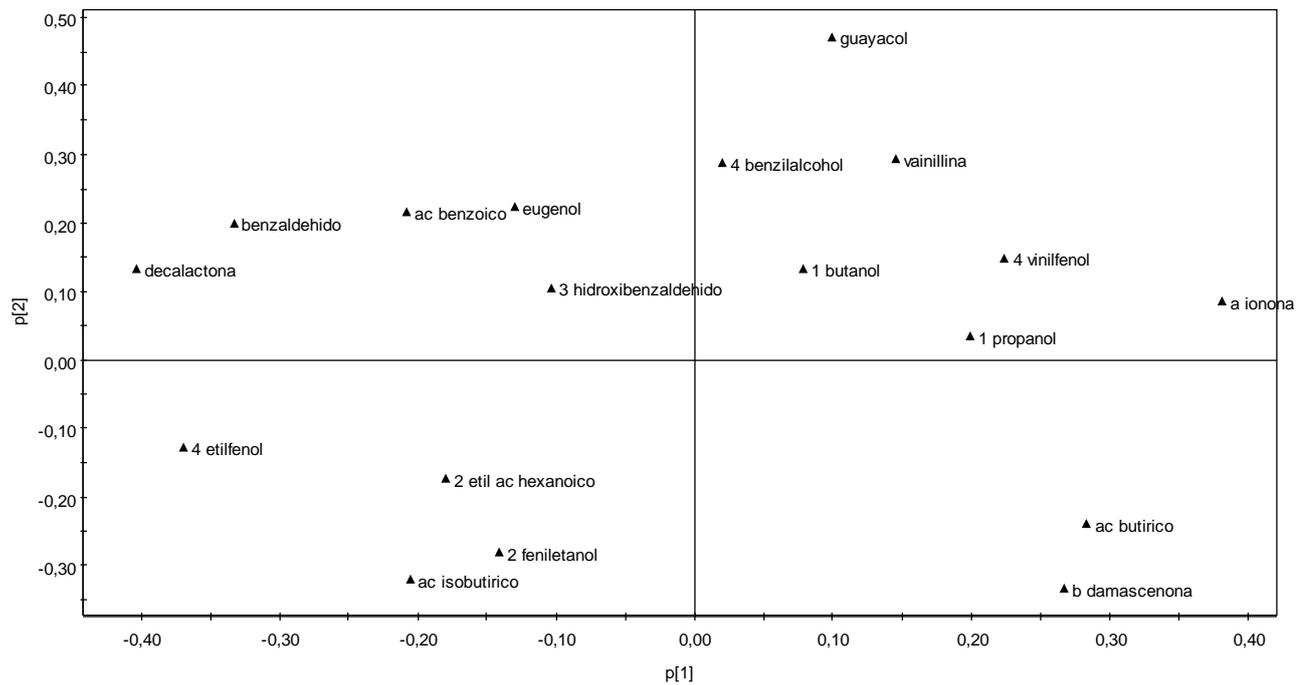


Figura 14. Análisis de los componentes principales para el factor calidad del agua de riego. Representación de loadings en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2.

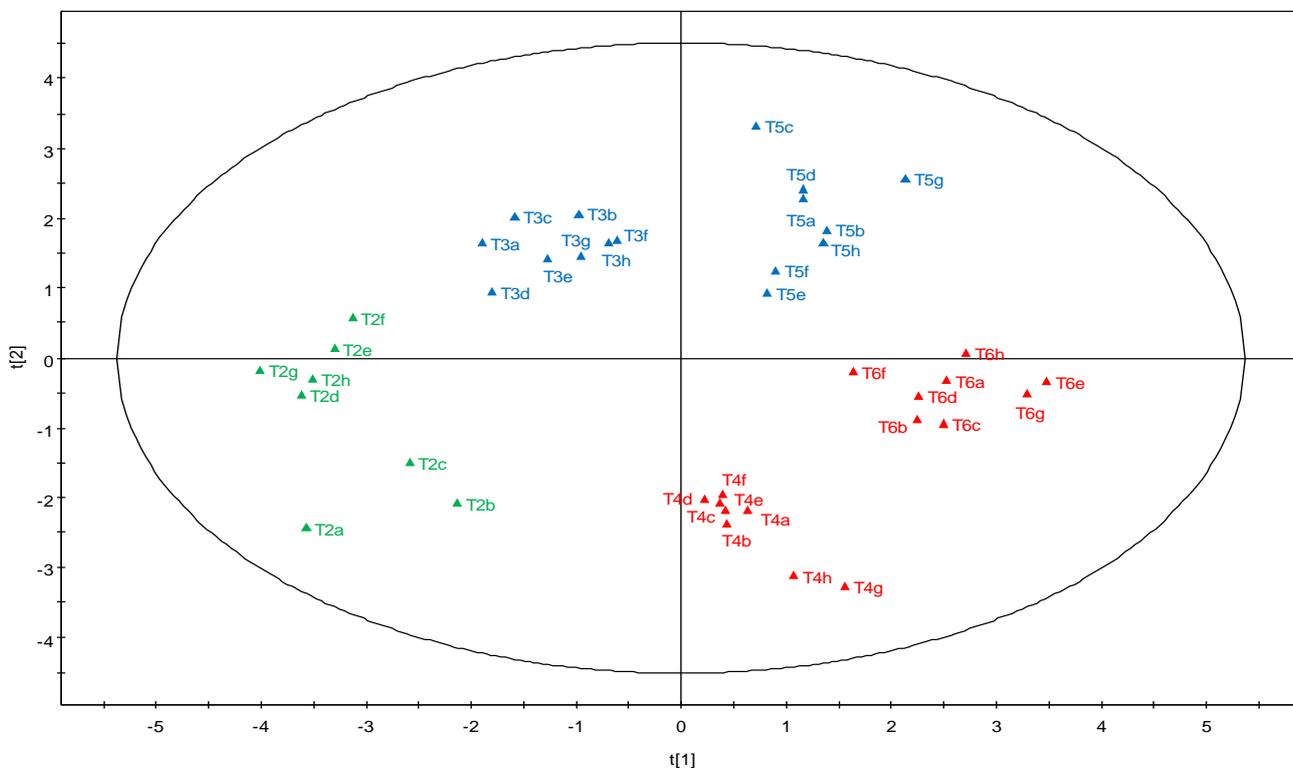


Figura 15. Análisis de los componentes principales. Representación de scores en el plano formado por los componentes principales PC1 y PC2 en función de la calidad del agua de riego.

5. CONCLUSIONES

Los resultados han puesto de manifiesto que tanto el periodo de riego y la calidad del agua de riego utilizada tienen un efecto significativo sobre la madurez tecnológica y la mayoría de precursores aromáticos analizados en las uvas de la variedad Monastrell.

El riego es una herramienta útil en zonas semiáridas para aumentar la producción. La utilización de agua salina a base de sulfatos para el riego de la vid da lugar a una producción de Kilos por cepa semejante al secano. Cuando se utiliza agua salina a base de cloruros la producción por cepa aumenta respecto al secano. La mayor producción se da con agua de buena calidad.

Las cepas del tratamiento de secano (T1) han estado sometidas a un estrés hídrico que ha afectado claramente al peso medio del grano. Del mismo modo ocurre en las cepas regadas a partir del envero hasta la vendimia con agua salina con base de sulfatos y cloruros (T5 y T6), la falta de agua entre la floración y el envero provoca una disminución en el tamaño de la baya.

La composición de la baya se vio afectada por la aplicación de riego, excepto en el contenido de sólidos solubles donde no se han encontrado diferencias notables entre los tratamientos aplicados. En lo que se refiere a la acidez total, las uvas en secano (T1) y las regadas con agua de buena calidad (T2) presentan una disminución de su acidez. En cambio en las uvas regadas con agua salina, ya sea a partir de la floración o del envero, la acidez total aumenta. En lo que respecta al pH, todas las cepas de los diferentes tratamientos aumentan en menor o mayor medida su pH.

El período de riego afecta significativamente a todos los compuestos aromáticos estudiados, a excepción del 1-butanol. La calidad del agua, en cambio, afecta significativamente a todos los compuestos aromáticos excepto a 4-vinilfenol, 2-etil ácido hexanoico, 3-hidroxibenzaldehído, 2-feniletanol y 1-butanol.

El análisis de componentes principales muestra que las uvas en secano (T1) contienen mayor cantidad de ácido isobutírico y 2-etil ácido hexanoico. Las procedentes del riego entre floración y vendimia (T3 y T4) ácido benzoico, 4-etilfenol, 1-butanol y benzaldehído. Y, por último, las uvas regadas desde post envero (T5 y T6) contienen mayor cantidad de alcoholes (butanol, feniletanol), vainillina, bencenos (4-benzilalcohol, 3-hidroxibenzaldehído), fenoles volátiles (guayacol, 4-vinilfenol) y norisoprenoides (α -ionona).

En el análisis de componentes principales determina que las bayas regadas con agua de buena calidad (T2) contienen mayor cantidad de 4-etilfenol, 2-etil ácido hexanoico, 2-feniletanol y ácido isobutírico. Las regadas con agua salina con base de cloruros (T4 y T6) contienen más 1-propanol, ácido butírico y β -damascenona. Y, por último las regadas con agua salina con base de sulfatos (T3 y T5) contienen mayor cantidad de eugenol, vainillina, 1-butanol, bencenos (benzalaldehído, 3-hidroxibenzaldehído) y fenoles volátiles (4 vinilfenol, guayacol).

El riego es una práctica útil y necesaria en casos en que las condiciones climáticas sean adversas. Los resultados obtenidos sobre la calidad del agua de riego para la mayor parte de los compuestos volátiles analizados, muestran que en general, no se observa un efecto negativo en la formación de precursores aromáticos en las uvas regadas con aguas salinas, esto tiene una implicación enológica importante, ya que indica que al menos en este estudio, no es un factor importante a la hora de realizar estas prácticas vitícolas

6. BIBLIOGRAFIA

A. Belancic, A. and Agosin (2002). Aromas Varietales: Influencia de ciertas prácticas vitícolas y enológicas. Centro Tecnológico de Aromas, Escuela de Ingeniería, Depto. Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile.

Bayonove, C. L., Günata, Z., Baumes, R. L., & Crouzet, J. (2000). Aromas. In *Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos* (pp. 137-176). Mundi Prensa Libros SA.

Blindon, K., Varela V., Kennedy, J., Holt, H., Herderich, M. (2013). Relationship between harvest time and wine composition in *Vitis Vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *Grape and wine chemistry . Food Chemistry*, 138, 1696-1705

Boulton, R. (1980). The general relationship between potassium, sodium and pH in grape juice and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 31(2), 182-186.

Cacho, J.F. (2003). El vino, su composición y nuestros sentidos. Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza

Canuti, V.; Conversano, M.; Li Calzi, M.; Heymann, H.; Matthews, M.; Ebeler, S. 2009. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry for profiling free volatile compounds in Cabernet Sauvignon grapes and wines. *Journal of Chromatography A*. 1216, 3012-3022

Chapman, D.M; Roby, G; Ebeler, S.E; Guinard, J.X; Matthews, M.A. (2005). Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wines made from vines with different water status. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 11, 339–347.

Cordonier, R., Bayonove, C. (1974). Mise en évidence dans la baie de raisin, variété Muscat d'Alexandrie, de monoterpènes liés révélables par une ou plusieurs enzymes du fruit. *C.R. Acad.Sci. Paris*, 278: 3397-3390.

Cramer, G.R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology* 11, 163.

Esteban, E. (2011). Contenido de Lactonas en los vinos. Instituto de la Vid y el Vino de Castilla-La Mancha. IVCM/2011/GLACTON.

Fisarakis, I., Chartzoulakis, K., and Stavrakas, D. (2001) Response of Sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. *Agricultural Water Management*, 51, 13–27

Hernandez-Orte, P; Loscos, N; Peña, A; Cacho, J; Ferreira, V; Moro, L.C; Guadarrama, A; Gallo, R. 2010. Estudio comparativo de la evolución del potencial aromático de uvas de la variedad Verdejo en secano y en regadío durante su maduración. ISBN 978-84-8125-3368, pág. 109.

Hidalgo Togados, J. Hidalgo, L. (2011). Tratado de viticultura. TOMO I y II. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 2065 pp.

HIDALGO, L. (2002). Tratado de Viticultura General (3ª ed.). Ed. Mundi-Prensa S.A., Madrid.

Laurenson, S., Bolan, N. S., Smith, E., & McCarthy, M. (2012). Use of recycled wastewater for irrigating grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(1), 1-10.

Loscos, N. Hernandez-orte, Cacho, J y Ferreira, V. (2007). Release and Formation of Varietal Aroma Compounds during Alcoholic Fermentation from Nonfloral Grape Odorless Flavor Precursors Fractions. Laboratory for Aroma Analysis and Enology, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Sciences, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2013. Estadísticas. Visto el 28 de Junio de 2018. <http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/produccionesagricolas/vitivinicultura/>

Munns, R., (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ*, 25:239–250.

Netzer, Y., Shenker, M. & Schwartz, A. Effects of irrigation using treated wastewater on table grape vineyards: dynamics of sodium accumulation in soil and plant *Irrig Sci* (2014) 32: 283.

O.I.V, Recopilación de los métodos internacionales de análisis de vinos, 1990, p. 16. Visto el 30 de Junio de 2018. <http://www.oiv.int/es/>

Riu-Aumatell M.,(2005). New strategies for enhancing the organoleptic quality of sparkling wine AGL2011-23872.

Romero Gámez, M. (2010). Evaluación microclimática, agronómica y ambiental de un cultivo bajo malla. Caracterización radiativa en mallas. Granada: Universidad de Granada.

Schultz, H. R., & Stoll, M. (2010). Some critical issues in environmental physiology of grapevines: future challenges and current limitations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 4-24.