



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Grado en Enología

**Estimación del potencial de calidad de
la uva a partir de parámetros del
equilibrio vegetativo del viñedo en la
Ribera del Duero**

Alumno/a: Marina Cuadrillero de Coca

**Tutor/a: Pedro Martín Peña
Cotutor/a: M^a Rosa González García
Jose Manuel Rodríguez Nogales**

Junio 2018

Copia para el tutor/a

INDICE

1. RESUMEN	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1. EL DESARROLLO VEGETATIVO DE LA VID	
2.2. EL RENDIMIENTO DE LAS CEPAS	
2.3. EL EQUILIBRIO VEGETATIVO	
2.4. EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO Y NUTRICIONAL SOBRE EL EQUILIBRIO VEGETATIVO, LA COMPOSICIÓN DE LA UVA Y EL VINO	
3. OBJETIVOS.....	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DEL MATERIAL VEGETAL	
4.2. CONTROLES Y OBSERVACIONES	
4.2.1. VIGOR DEL VIÑEDO	
4.2.2. RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES	
4.2.3. EQUILIBRIO VEGETATIVO	
4.2.4. COMPOSICIÓN DE LOS MOSTOS Y VINOS	
4.2.4.1. Microvinificaciones	
4.2.4.2. Composición fisicoquímica de los mostos	
4.2.4.3. Parámetros de madurez fenólica	
4.2.4.4. Composición fisicoquímica de los vinos	
4.3. ANÁLISIS DE DATOS	
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5.1. EFECTOS DEL VIGOR DEL VIÑEDO EN LA COMPOSICIÓN DEL MOSTO Y DEL VINO	
5.2. EFECTOS DEL RENDIMIENTO DEL VIÑEDO EN LA COMPOSICIÓN DEL MOSTO Y DEL VINO	
5.3. EFECTOS DEL EQUILIBRIO VEGETATIVO DEL VIÑEDO EN LA COMPOSICIÓN DEL MOSTO Y DEL VINO	
6. CONCLUSIONES.....	21
7. BIBLIOGRAFÍA.....	22

1. RESUMEN

En este estudio se evalúa el efecto de la variación del equilibrio vegetativo del viñedo sobre la calidad del mosto y vino procedente de la D.O.P. Ribera de Duero. Para ello, se han seleccionado 20 subzonas de viñedo de secano, con diferentes características topográficas y edafológicas, buscando la máxima variabilidad en relación con la disponibilidad de agua y de nutrientes para las cepas. Se ha realizado un seguimiento agronómico de las subzonas durante el año 2016, controlando las componentes de la expresión vegetativa del cultivo, y se realizaron microvinificaciones de la vendimia de cada subzona y se analizaron los parámetros de composición del mosto y el vino.

El vigor del viñedo ha sido un buen indicador para la coloración del mosto, presentando relaciones negativas con el índice de polifenoles totales. Además, el vigor se ha relacionado con aumentos de pH del mosto, influyendo en la acumulación de azúcares. El rendimiento no presentó correlación con la acumulación de azúcares y la acidez total, sin embargo, fue un buen indicador del contenido polifenólico total y de la coloración de los vinos.

Se observaron correlaciones negativas del índice de Ravaz con el contenido de ácido málico, detectando mayores potenciales de calidad en las zonas de índice bajo. La ratio superficie foliar a rendimiento crecientes estuvo inversamente relacionada con la concentración de antocianos y taninos del vino y su intensidad colorante.

Los resultados obtenidos demuestran la potencial utilidad de los índices de equilibrio vegetativo para la microzonificación del viñedo en viticultura de precisión, especialmente de cara a la obtención de mapas de calidad relacionados con el contenido fenólico y color de los vinos tintos.

2. INTRODUCCIÓN

El sector vitivinícola en la D.O.P Ribera del Duero está en pleno desarrollo, centrado en elaborar vinos de calidad, no solo durante el proceso de elaboración, sino buscando el equilibrio vegetativo de sus viñedos. El potencial de calidad del viñedo depende de factores intrínsecos como son el suelo o el clima, junto con factores extrínsecos en los que las decisiones del viticultor son imprescindibles, como son el marco de plantación o técnicas culturales para controlar el crecimiento vegetativo y rendimiento de las cepas.

2.1. EL DESARROLLO VEGETATIVO DE LA VID

2.1.1. La superficie foliar

Las plantas de vid actúan como un sistema con microclima propio el cual varía con el crecimiento y cantidad de follaje que desarrollen. Gracias a la superficie foliar, la vid capta luz solar transformándola en energía para hacer crecer sus órganos verdes, emitiendo vapor de agua y provocando en su alrededor un ligero cambio en las condiciones de temperatura y humedad que van a afectar a la propia planta y a las de su alrededor (Pérez, 2002).

El control del desarrollo vegetativo, en particular de la superficie foliar de las plantas, mediante un buen manejo del cultivo desde el inicio de periodo de crecimiento, es muy interesante por su influencia en la fisiología de la planta, enfocado a controlar enfermedades y obtener buenos niveles de producción para mejorar la calidad tanto de la uva como del vino (Kliwer *et al.* 1988; Smart *et al.* 1990). Es necesario, por parte del viticultor, asegurar una adecuada acumulación de reservas que permitan obtener un nivel de producción de uva de calidad (Yuste *et al.*, 2007).

Por ello, para obtener un buen potencial de calidad de la uva en relación con el desarrollo de la planta y la superficie foliar, hay que buscar obtener un área foliar homogénea, formada por sarmientos de igual vigor, sanos y distribuidos de forma ordenada, para que así la fotosíntesis se lleve a cabo de forma eficiente y obtener buenas producciones de uva sana con maduraciones uniformes (Hunter y Archer, 2001). Un aumento del índice de área foliar (IAF), lleva a un aumento de producción fotosintética, pero hasta un límite en que se invierte, porque las hojas quedan sombreadas amontonándose y transformándose en sumideros, siendo importante evitarlos para no perder eficiencia (Reynier, 1995; Sánchez, 2007).

2.1.2. El vigor de la planta

El vigor de la planta es un parámetro que mide su capacidad de crecimiento. Para hacer una buena medida y un buen control del mismo existen diferentes métodos que permiten caracterizarle. Según Carbonneau (1987), el peso de madera de poda es un buen indicador de la fracción de materia seca acumulada en los sarmientos (Lopes y Castro, 1989), siendo el IAF indispensable para estudiar el comportamiento de la planta y analizar el potencial cualitativo de sus sistemas de conducción (Lopes y Pinto, 1998).

Según Hidalgo y Candela (1966), la densidad de plantación disminuye la capacidad individual de la cepa provocando una disminución en la relación entre madera y uva concluyendo con que los aumentos de densidad de plantación provocan una disminución del vigor. Este aspecto según Champagnol (1979), va a ser favorable para la calidad de la uva, ya que va a haber una mayor exploración del suelo por las raíces restringiendo el vigor individual pero sí que habiendo un crecimiento homogéneo de la vegetación.

2.2. EL RENDIMIENTO DE LAS CEPAS

Un rendimiento o capacidad productiva adecuada de las cepas es una de las mayores preocupaciones del mundo vitivinícola. Se busca obtener un equilibrio entre la cantidad y calidad de uva optimizando la rentabilidad del viñedo (Pérez, 2002). La producción de vinos de calidad, por norma general, se suele atribuir a viñedos que tienen bajos rendimientos (González, 2003).

Dentro del rendimiento que se puede obtener de un viñedo, existen diferentes componentes que lo modifican: número de yemas dejadas en la poda, la fertilidad de los pámpanos, la cantidad y el peso de los racimos, o el peso de las bayas. Todo esto puede ser alterado y modificado influyendo en la calidad final de la uva (Yuste, 1995). González (2003) explica la relación inversa que existe entre el rendimiento y la calidad, mostrando que el rendimiento óptimo varía según el vigor o las características del entorno en el que se están desarrollando las vides.

Al igual que el vigor limita el rendimiento, una limitación del rendimiento y un retraso en la fecha de vendimia, pueden ser debidos a un aumento del vigor que ha desequilibrado la relación entre hojas y fruto (Murisier y Spring, 1986).

2.3. EL EQUILIBRIO VEGETATIVO

El equilibrio de la vid puede ser medido mediante distintos índices en los que se evalúa la capacidad de crecimiento vegetativo con la capacidad de producción de uva. A lo largo del tiempo, y hasta la actualidad, diversos autores han buscado un buen indicador de equilibrio ya que este va a derivar en una buena calidad tanto de la uva como del vino. El indicador más utilizado es el Índice de Ravaz, en el que se relaciona el peso de uva y el peso de madera de poda. Otro índice de equilibrio importante es el índice que relaciona la superficie foliar y la producción de fruto. Algunos autores como Fernández *et al.* (1977) o Champagnol (1984), coinciden y consideran como valor mínimo para este índice $1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$

2.4. EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO Y NUTRICIONAL SOBRE EL EQUILIBRIO VEGETATIVO. LA COMPOSICIÓN DE LA UVA Y EL VINO

Tanto el vigor como el rendimiento y los índices de equilibrio tienen influencia en la composición, así como en la calidad de la uva, lo que posteriormente repercutirá en la composición y calidad del mosto y del vino.

La disponibilidad de agua para las plantas afecta a la expresión vegetativa condicionando la fotosíntesis, el crecimiento de los órganos verdes y maduración de los frutos. Sin embargo, para la vid las condiciones de sequía pueden actuar como factor de calidad ya que puede disminuir el rendimiento y el peso de la baya. Además, cierto estrés hídrico va a adelantar el periodo de maduración. La aportación de agua al viñedo no va a influir en la acumulación de azúcares, pero sí que puede aumentar la acumulación de polifenoles o de ácido málico (Sotés, 2003).

La clorosis férrica es un problema nutricional, ocasionado por la deficiencia de hierro, que interfiere en el proceso de síntesis de clorofila y afecta al buen funcionamiento del cloroplasto (Álvarez-Fernández, 2000). La falta de actividad fotosintética se ve reflejada en el equilibrio vegetativo de las plantas, el microclima del racimo, en la calidad de los mostos, y por tanto posteriormente en la de los vinos. Los efectos principales de la carencia son: descensos en la acumulación de azúcares y antocianos en la baya durante el proceso de maduración (Veilksar *et al.*, 2005), repercutiendo luego en el contenido fenólico total del vino (Smart y Robinson, 1991).

El estudio de los parámetros que determinan el equilibrio vegetativo del viñedo tiene una importantísima aplicación en la viticultura de precisión. La capacidad de delimitar diferentes zonas según sus características productivas y cualitativas dentro de un mismo viñedo supone poder actuar en estas zonas de forma específica ayudando a obtener producciones de calidad. Existen distintas herramientas que van a ayudar a esta zonificación como los sistemas de información geográfica (SIG), *sistemas* de posicionamiento global (GPS), sistemas de teledetección o monitores de rendimientos (Marchevsky, 2005).

Para poder llevar a cabo este tipo de procedimientos es necesario recoger datos tanto de vigor y rendimiento estableciendo los índices de equilibrio durante varias campañas para aumentar la eficacia del sistema. Con el uso de estas herramientas se han desarrollado mapas de calidad de la uva como los elaborados por Bramley (2005) o de evaluación de los rendimientos de las cepas (Esser *et al.*, 2002).

En el estudio realizado por González-Fernández *et al.* (2011) se hizo un seguimiento de las variables de calidad del mosto, así como de nivel de producción realizando zonificaciones intraparceldarias, logrando separar las zonas en que las producciones son de alta calidad del resto, para tratarlas de forma diferente y elaborar vinos de alta calidad. Además, se separaron zonas de alto y bajo potencial de producción para aplicar medidas correctivas en las zonas con potenciales bajos.

3. OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo son:

- Establecer relaciones entre parámetros de vigor, rendimiento y equilibrio vegetativo del viñedo con parámetros de composición de la uva y el vino en las condiciones de cultivo de la D.O.P. Ribera del Duero.
- Evaluar la posibilidad de emplear diferentes índices fisiológicos a comienzos de la maduración para predecir la capacidad de las plantas para producir uva de calidad.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DEL MATERIAL VEGETAL.

Las parcelas escogidas para el estudio se encuentran en Pesquera de Duero en la provincia de Valladolid. El municipio de Pesquera de Duero está a: 41° 38' 28" N 04° 09' 21" O y a una altitud de 747 msnm.

El clima se caracteriza por ser de tipo mediterráneo con carácter continental. Los inviernos son fríos con fuertes heladas que coinciden con la parada vegetativa de la vid, permitiendo que las yemas acumulen las horas de frío necesarias para una buena salida de dormición en el ciclo vegetativo siguiente. En primavera las temperaturas son cálidas y coinciden con las precipitaciones máximas optimizando el desarrollo y crecimiento de los órganos verdes de la planta. Los veranos destacan por ser calurosos y secos, idóneos para un buen cuajado y enverado del fruto.

Los suelos tienen niveles bajos de materia orgánica, menores al 1,5% según valor de referencia aportado por Yañez (1989) para el cultivo de secano. La textura es entre franca y arcillosa y tienen un pH medio superior a 8,5 valor muy elevado respecto al intervalo de pH considerado como óptimo para el cultivo de la vid que es de 5,4 a 6,7. El porcentaje de carbonatos está alrededor del 26% y la caliza activa varía mucho entre subzonas, aunque por norma general se sitúa sobre el 9%.

Para el estudio, dentro de la zona descrita se han seleccionado 20 subzonas, de 100 m² de superficie, que se pueden observar en la Tabla 1, en distintos parajes de parcelas pertenecientes a la bodega Emilio Moro S.L con el objeto de encontrar la máxima variabilidad entre zonas. Se hizo un seguimiento del ciclo vegetativo, marcando los estados fenológicos más importantes para el estudio expuestos en la Tabla 2.

Tabla 1. Parcelas y parajes del estudio.

PARAJE	PARCELA	MARCO	LATITUD	LONGITUD
HONTANILLA	VH10-1	3x1,5 m	41,6533993	-4,1750898
HONTANILLA	VH10-5	3x1,5 m	41,6535117	-4,1752565
CAMINO	VH11-1	3x1,5 m	41,6565440	-4,1631387
CAMINO	VH11-5	3x1,5 m	41,6565695	-4,1634587
CHOZO	VH14-1	3x1,5 m	41,6561122	-4,1648545
CHOZO	VH14-5	3x1,5 m	41,6556935	-4,1646035
HONTANILLA	VH15-1	3x1,5 m	41,6530058	-4,1761190
CORNALVO	VC18-1	3x1,5 m	41,6577772	-4,1762960
CORNALVO	VC18-5	3x1,5 m	41,6579713	-4,1764295
CHOZO	VC19-5	3x1,5 m	41,6560313	-4,1663320
CHOZO	VC19-6	3x1,5 m	41,6558372	-4,1654518
CORNALVO	VC21-1	3x1,5 m	41,6577073	-4,1777572
CORNALVO	VC21_5	3x1,5 m	41,6577392	-4,1774133
CORNALVO	VC22-5	3x1,5 m	41,6577778	-4,1766666
HONTANILLA	VH31	3x1,5 m	41,6534858	-4,1755532
HONTANILLA	VC32	3x1,5 m	41,6529948	-4,1766270
CORNALVO II	VC33	3x1,3 m	41,6571578	-4,1750360
CORNALVO II	VH34	3x1,3 m	41,6572288	-4,1743963
CORNALVO II	VC35	3x1,3 m	41,6582721	-4,1755680
CHOZO	VH36	3x1,5 m	41,6552361	-4,1658278

Tabla 2. Estados fenológicos de interés.

20/06/2016	23/08/2016	29/09/2016
Cuajado	Envero	Madurez*

*Fecha de vendimia.

Todo el viñedo de este estudio es cv. Tempranillo, injertado sobre el patrón 110-Ritcher (110R). Se encuentra en periodo de plena producción, de secano, conducido en espaldera y con el sistema de poda doble cordón Royat. Con un marco de plantación de 3m x 1,5m a excepción de alguna subzona que tiene un marco de 3m x1,3m. La densidad de plantación es entre 2.300 y 2.600 plantas/ha.

La variedad Tempranillo es la más cultivada de la Ribera del Duero. Morfológicamente se caracteriza por tener hojas pentámeras y grandes, los racimos son de tamaño medio, con compacidad media-alta y forma cilíndrica con alas. Agronómicamente, destaca por tener porte semierguido, brotación tardía y maduración de temprana a media. Es una variedad sensible al oídio (Cabello, 2011).

4.2. CONTROLES Y OBSERVACIONES

4.2.1. VIGOR DEL VIÑEDO

Para medir el vigor del viñedo en cada subzona se han tomado distintas medidas, contando y pesando los sarmientos por cepa y calculando el peso de madera de poda en kg de madera·m⁻².

También se ha evaluado el IAF. Para calcularlo se ha seguido la metodología propuesta por Sánchez de Miguel *et al.* (2010) en la que se seleccionaron al azar cinco cepas de cada subparcela, donde se marcaron 4 pámpanos representativos por planta (un total de 20 pámpanos), de ellos se seleccionaron 2 pámpanos centrados y representativos de la cepa en cada brazo. Se tomaron tres medidas distintas del área de la hoja más grande y de la hoja más pequeña, así como el número de hojas del pámpano y de los nietos. El área de las hojas se obtuvo con un medidor portátil de área foliar CI-202 (CID Bioscience, Inc, USA).

4.2.2. RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

Para hacer una estimación del rendimiento se contabilizaron y pesaron los racimos por cepa y se calculó el rendimiento o producción media en kg de uva·m⁻² y kg de uva·cepa⁻¹.

4.2.3. EQUILIBRIO VEGETATIVO

Se evaluó en este estudio el equilibrio vegetativo de dos formas, mediante el Índice de Ravaz en el cual se relaciona el rendimiento (kg de uva·cepa) entre el vigor (kg de madera de poda·cepa) y se va a evaluar la relación existente entre la superficie foliar con el IAF y el rendimiento.

4.2.4. COMPOSICIÓN DE LOS MOSTOS Y VINOS

En campo se cogieron dos muestras de 150 bayas al azar de diferentes partes de los racimos en cada una de las subzonas, con la finalidad de que fuesen lo más representativas posible. Una de las muestras se destinó al análisis de mosto y otra a la evaluación de la madurez fenólica de la uva. Se extrajo el mosto de cada una de las muestras machacando las bayas y así separándolo de las partes sólidas introduciendo el mosto en tubos Falcon donde fue centrifugado 3 min a 3500 rpm y una vez separado se utilizó para analizar distintos parámetros del mosto y los correspondientes a la madurez fenólica expuestos posteriormente.

4.2.4.1. MICROVINIFICACIONES

La vinificación de la vendimia, separada y diferenciada por subzonas, se realizó por duplicado en damajuanas de 20 l. La uva vendimiada en cada subzona, 2 cajas de 14 kg, se despalló y estrujó, encubándose en cada damajuana 12 kg de pasta (hollejos y mosto). Posteriormente, se procedió a un sulfitado con metabisulfito potásico ($K_2S_2O_5$) a una dosis de $6 \text{ g} \cdot \text{hL}^{-1}$ de SO_2 total.

Para iniciar la fermentación alcohólica (FA) se sembraron levaduras *Saccharomyces cerevisiae* secas activas (Zymaflore RX60, Laffort) a una dosis de $16 \text{ g} \cdot \text{hL}^{-1}$. El proceso de la FA transcurrió a una temperatura de entre 18 y 24 °C, realizando bazuqueos diariamente y controlando la temperatura y la densidad hasta que fue inferior a $995 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. El final de la FA se confirmó mediante la medida de los azúcares residuales. Los vinos se descubaron y presaron, llevándose a recipientes de vidrio de 8 L. Pasados 7 días se realizó un trasiego para eliminar las lías gruesas. A continuación, se procedió a inocular las bacterias lácticas *Oenococcus oeni* (Lactoenos SB3 Direct, Laffort). La fermentación maloláctica (FML) tuvo lugar a una temperatura de entre 20 y 22°C y duró alrededor de 20 días comprobando su evolución mediante cromatografía de papel. Una vez finalizada la FML, se trasegó y se sulfitó para llegar a 30 mg/L de SO_2 libre. El vino se estabilizó a 10°C durante más de un mes y pasado este tiempo se trasegó y se embotelló.

4.2.4.2. COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MOSTOS

4.2.4.2.1. pH y Acidez total

Para realizar las analíticas de acidez total y pH se llevó a cabo una valoración potenciométrica según la metodología oficial de la UE, del reglamento CEE 2676/90 (Comisión Europea, 1990).

La medida de la acidez total y el Ph, tanto del mosto como del vino, se ha realizado con el valorador de la marca Methrom, modelo 702SM Titrino (Methrom Schweiz AG, Zofingen, Suiza). Para la acidez se realizó una neutralización volumétrica con NaOH 0,1 N hasta alcanzar un pH 7. La acidez total ha sido expresada en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ de ácido tartárico según los ml de NaOH gastados (García-Barceló, 1990).

4.2.4.2.2. Nitrógeno fácilmente asimilable (NFA)

En el mosto hay distintas fuentes de materia nitrogenada. El NFA se forma por la unión entre el ión amonio y aminoácidos, a excepción de la prolina, y constituye la principal fuente de materia nitrogenada utilizada por las levaduras (Fleet y Heard, 1993). Para la determinación del NFA se utilizó el valorador automático Methrom 702 SM Titrino (Methrom Schweiz AG, Zofingen, Suiza). El método utilizado es una modificación del método de Sørensen propuesta por Masneuf y Dubourdieu (1999) que consiste en llevar las muestras de 10 ml de mosto a pH 8,5 con la adición de NaOH 0,1 N. Después se recogen 10 ml de esta disolución y se añaden 4 ml de una solución de formaldehído para finalmente volver a llevarlo a pH 8,5 con NaOH 0,1 N. El cálculo del NFA se mide en base a la cantidad de base utilizada para llevar las muestras a pH 8,5 con la fórmula:

$$NFA(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = \text{ml NaOH} (0,1N) \cdot 14.$$

Según diversos estudios se considera que la cantidad de NFA en el mosto inicial debe ser superior a $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para lograr el correcto desarrollo de la fermentación (Blouin y Peynaud, 2004; Henschke y Jiranek, 1993; Suárez y col., 2003).

4.2.4.2.3. Grado brix (BRIX)

El grado brix es un parámetro que mide la cantidad de azúcar (sacarosa) disuelta en el mosto calculado por el método refractométrico según la metodología oficial de la UE (CE,1990). Para ello se utilizó el refractómetro digital calibrado DR-101 BRIX (Optic Iyymen) con agua destilada y aplicando corrección sobre los resultados a una temperatura de 20°C.

4.2.4.2.4. Ácido málico (MAL)

Para la medida del contenido de ácido málico se utilizó el método enzimático con el uso de kits enzimáticos (Novakit, S.L) por el método oficial de la (CE1990). El protocolo llevado a cabo sigue la metodología de García Barceló (1990).

Se prepararon las muestras con los reactivos del kit que son los siguientes:

- Solución 1 (S1): Tampón de glicilglicina (pH 10,0) con ácido l-glutámico.
- Solución 2 (S2): B-NAD liofilizado (reconstituir con 6 ml de agua bidestilada)
- Suspensión 3 (S3): Glutamato-oxolacetato-transaminasa (GOT), en sódico n de sulfato de amonio.
- Solución 4/problema (S4): L-malato deshidrogenasa (L-MDH) en sódico n de glicerina, ácido L-málico (Fluka) y agua mili-Q.

En cubetas de PVC de 1 cm de paso de luz se añaden 1 ml de S1, 0,2 ml de S2, 0,9 ml de agua destilada y 0,1 ml de la solución problema, y un blanco que contendrá 1 ml de S1, 0,2 ml de S2 y 1 ml de agua destilada como referencia. Se dejan reposar durante 30 minutos y se añaden 0,01 ml de S3 a cada una de las muestras. Se deja reposar otros 10 minutos y se mide la absorbancia a 340 nm (A1). Tras la primera lectura se añaden 0,01 ml de S4, se deja reposar 5 minutos y se vuelve a medir la absorbancia a 340 nm (A2). Para finalmente saber la cantidad de ácido málico en g·L⁻¹ utilizamos la fórmula:

$$A. \text{Málico} = 0,472 * (A2 - A1)$$

4.2.4.2.5. Contenido de potasio (K)

La medida del contenido de potasio es importante dada su influencia en algunos parámetros importantes de la calidad del mosto como el pH o la acidez o a su influencia en la limpidez del vino derivada de la formación de cristales de bitartrato. Para la medida del contenido de potasio se ha utilizado la metodología oficial de la UE (CE,1990) basada en la técnica de fotometría de llama empleando un fotómetro PFP-7 Jenway (Bibby Scientific Limited, Staffordshire, Reino Unido) calibrado con diferentes compuestos de referencia y con un filtro específico para las mediciones de este elemento. Se hicieron diluciones en el mosto por su elevado contenido en potasio y el resultado es expresado en mg·L⁻¹ de potasio.

4.2.4.2.6. Índice de polifenoles totales (IPT)

Esta analítica va a mostrar los compuestos fenólicos, principalmente el contenido de taninos y antocianos, los cuales son los principales responsables de dar el color. Están principalmente en los hollejos, se extraen de la uva durante la FA en el tiempo de maceración de los hollejos con el mosto-vino. Solo una parte del total de los fenoles de la uva serán extraídos (Romero,2008).

Para calcular el valor del IPT, se midió la absorbancia tanto del mosto como del vino a 280 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (JASCO V-530). Antes de medir la absorbancia, las muestras se diluyeron 1:25 en cubetas de cuarzo 1 mm de paso de luz. Una vez medidas todas las absorbancias, se multiplicaron los resultados por 10 para expresarlas en 1 cm, y se corrigió el resultado multiplicando por el factor de dilución, en este caso 25 expresado en unidades de absorbancia (u.a). Por ello la expresión obtenida para el cálculo de IPT es la siguiente:

$$IPT = A_{280} * 10 * 25$$

4.2.4.2.7. Parámetros cromáticos

4.2.4.2.7.1. Intensidad colorante (ICOL)

La intensidad colorante tanto para mosto como para vino resulta de la suma de las absorbancias medidas a las longitudes de onda de 420, 520 y 620 nm. La tonalidad se mide por la relación entre la absorbancia a 420 nm y la absorbancia a 520 nm (Glories, 1978). En este método la absorbancia 420 corresponde a la coloración amarilla, 520 a la coloración roja y 620 a la coloración azul.

$$ICOL = A_{420} + A_{520} + A_{620}$$

Se utilizó un espectrofotómetro UV-Visible JASCO V-530 (Inc, Easton, Maryland, Estados Unidos) cubetas de cuarzo de 1 mm, y el software "JASCO Spectra Manager corporation" con observador patrón CIE64 (10° de campo de visión) y el iluminante D65 (CIE, 1986).

4.2.4.3. PARÁMETROS DE MADUREZ FENÓLICA

Para el cálculo de los diferentes parámetros de la madurez fenólica se ha seguido la metodología descrita por Saint-Cricq *et al.* (1998). Dentro de los diferentes cálculos de madurez fenólica se destacan el contenido de taninos y antocianos presentes tanto en mosto como en vino tinto. La metodología Saint-Cricq permite determinar el contenido de antocianos totales presentes en la uva.

Con muestras de 150 bayas se preparan distintas soluciones. Las 150 bayas se baten y se centrifugaron 6 minutos a 4200 rpm, se filtran con lana de vidrio y se volvieron a centrifugar otros 6 minutos a 4200 rpm. Una vez hecho esto preparamos las dos muestras, una con 50 g de la pasta y 50 ml de una solución a pH 1 y a la otra con otros 50 g de la pasta y 50 ml de una solución a pH 3. Ambas soluciones contenían:

- Disolución a pH 1: 8.3 ml de HCl al 37% y enrasar a 1litro con H₂O destilada.
- Disolución a pH 3.2: 120 ml de etanol 96%, 5 g de ácido tartárico, 2,5 ml de NaOH 32% y enrasar a 1l con H₂O destilada.

Una vez hecho esto se dejan reposar durante 4 horas. Con estas muestras se van a obtener los valores de fenoles totales y antocianos totales.

4.2.4.3.1. Fenoles totales (CFT)

Para el cálculo de los fenoles totales se utiliza la muestra que contiene la disolución a pH 3,2, se toma 1 ml de esta y se enrasa a 25 ml con H₂O destilada y se mide la absorbancia a 280 nm en cubeta de vidrio de 1 cm de paso de luz (D1) tomando agua destilada como blanco (D0) expresado en unidades de absorbancia (u.a). Para el cálculo del contenido fenólico total (CFT) se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$CFT = (D0 - D1) * 25 * 40$$

4.2.4.3.2. Antocianos totales (ANT)

Se determinan los antocianos totales con el método de García- Barceló (1990) basado en la decoloración de las muestras con bisulfito sódico y midiendo la absorbancia a 520 nm. Por cada muestra se necesitan tres tubos de ensayo:

- Tubo 1: 0,75 ml de muestra y 15,75 ml de la disolución de etanol (HCl 2%).
- Tubo 2: 5 ml del tubo 1 y 2 ml de bisulfito sódico al 16% (D0, muestra).
- Tubo 3: 5 ml del tubo 1 y 2 ml de H₂O destilada (D1, control).

Al cabo de 20 min se mide la absorbancia a 520 nm en una cubeta de vidrio de 1 cm de paso de luz. Previamente se hace el blanco con agua destilada, para hacer las medidas se pondrán ambas cubetas enfrentadas (D0 y D1). Con las muestras preparadas con la disolución a pH 1 los antocianos totales (ANT) expresados en g·L⁻¹ de malvidina a través de la siguiente fórmula:

$$ANT = (D0 - D1) * 1500$$

4.2.4.4. COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS VINOS

4.2.4.4.1 pH y acidez total

Para realizar las analíticas de acidez total y pH se llevó a cabo una valoración potenciométrica según la metodología oficial de la UE, del reglamento CEE 2676/90 (Comisión Europea, 1990).

El procedimiento llevado a cabo es el mismo que se ha descrito para el mosto en el apartado 4.2.4.2.1.

4.2.4.4.2. Grado alcohólico

Para su determinación se utilizó el método ebuliométrico, que se basa en la diferencia en la temperatura de ebullición entre el agua y el vino. En primer lugar, se determinó el punto de ebullición del agua introduciendo 50 ml de agua en la caldera de vidrio. Se tapó la caldera con un termómetro y se acopló al refrigerante. A continuación, se calentó la caldera hasta el punto de ebullición del agua donde se estabiliza la temperatura del termómetro. Esta temperatura será el cero en la regla de cálculo del grado alcohólico. Una vez hecho esto, se determinó el punto de ebullición del vino con 50 ml de vino. Una vez obtenido este punto de ebullición del vino se lleva a la regla donde se había marcado el cero y se determina el grado alcohólico de la muestra analizada expresado en %vol.

4.2.4.4.3. Índice de polifenoles totales (IPT)

La metodología utilizada y su procedimiento es el mismo que el descrito para los mostos en el apartado 4.2.4.2.6. a diferencia de este, las muestras fueron medidas directamente en la cubeta de cuarzo de 1 cm, por ello la fórmula aplicada es la siguiente:

$$IPT = A_{280} * 25$$

4.2.4.4.4. Parámetros cromáticos

4.2.4.4.4.1. Intensidad colorante (ICOL)

Para llevar a cabo esta analítica en las diferentes muestras de vino se ha seguido la metodología descrita en el apartado 4.2.4.2.7.1.

4.2.4.4.5. Antocianos totales (AT)

Esta analítica se basa en la decoloración mediante bisulfito de sodio, basándose en que la decoloración es proporcional a la concentración de antocianos libres según la metodología dada por (Zamora, 2003).

El protocolo de esta técnica es el siguiente. En un vaso de precipitados se añade 1 ml de vino previamente filtrado, 1 ml de etanol al 96% y 20 ml de HCl al 2%. Para cada muestra de vino se necesitan dos tubos, la muestra y un blanco que sirva de referencia. En ambos tubos se introducen 5 ml de la mezcla inicialmente preparada y, a continuación, en uno de ellos se añaden 2 ml de agua destilada y, en el otro tubo, 2 ml de NaHSO₃ al 15%. Se tapan los tubos, se agitan cuidadosamente y se espera 10 minutos. Posteriormente, se procede a la lectura de las absorbancias de ambos tubos (A1 representa la muestra y A2 el blanco) a una longitud de onda de 520 nm en cubetas de vidrio de un paso óptico de 1 cm. La concentración de antocianos se obtiene, en mg·L⁻¹, con la siguiente fórmula:

$$\text{Antocianos totales} = (A1 - A2) * 875^{(*)}$$

(*) El valor 875 es el coeficiente de extinción molar de la malvidina (compuesto polifenólico más abundante en vinos).

4.2.4.4.6. Taninos totales (TT)

Este método analítico llevado a cabo se basa en la propiedad que presentan los taninos condensados de liberar en medio ácido y en presencia de calor, por rotura de los enlaces intermonoméricos, que puede por oxidación, dar lugar a una antocianidina (Bate-Smith, 1981).

Igual que en el método de obtención de antocianos totales, por muestra se necesitan dos tubos. En ambos tubos se mezclan 2 ml de vino diluido 1:50 con 1 ml de agua destilada y 6 ml de HCl 12 N. El tubo 1 se tapa herméticamente y se protege de la luz recubriéndolo con papel de aluminio y se introduce en baño maría durante 30 minutos. El tubo 2 se mantiene a temperatura ambiente sin proteger de la luz (Zamora, 2003). Al cabo de 30 minutos, se saca el tubo 1 del baño y se enfría rápidamente. Se añade 1 ml de etanol a cada tubo y, después de agitarlos con un vórtex, se miden las absorbancias

a 550 nm de ambos tubos usando una cubeta de vidrio de un paso de luz de 1 cm. La concentración de taninos, en g·L⁻¹, se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Taninos totales} = (A1 - A2) * 19,33^{(*)}$$

(*) El valor 19,33 corresponde al coeficiente de extinción molar de la cianidina obtenida por la hidrólisis ácida de los taninos condensados.

4.3. ANÁLISIS DE DATOS

El tratamiento de los datos se ha realizado mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute INC, 2004). Las relaciones entre el vigor, el IAF, el rendimiento, índice de Ravaz y el equilibrio entre el rendimiento y el IAF con los componentes de calidad del mosto y del vino se han analizado mediante métodos de regresión lineal y análisis factoriales de la varianza, analizando las diferencias entre la medias con el test de Tukey (p<0,05).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. EFECTOS DEL VIGOR DEL VIÑEDO EN LA COMPOSICIÓN DEL MOSTO Y VINO

En la búsqueda de una buena calidad de la uva y el vino, el desarrollo vegetativo del viñedo es un factor muy importante a tener en cuenta. El vigor está relacionado con el número de hojas adultas desarrolladas, ya que estas van a ser las encargadas de transformar la savia bruta en elaborada, alimentando a todos los órganos de la cepa (Hidalgo,2011).

Tabla 3. Coeficiente de determinación, nivel de significación y pendiente de la regresión de los parámetros fisicoquímicos del mosto y del vino sobre el vigor (kg madera de poda· m⁻²) y el índice de área foliar (IAF) del viñedo en enero.

PARÁMETROS	VIGOR	IAF
Mosto		
BRIX	(+) 0,05	(+) 0,13
Acidez Total	(+) 0,18	(+) 0,12
IPT	(-) 0,10	(-) 0,21 *
NFA	(-) 0,03	(+) 0,07
pH	(-) 0,06	(-) 0,01
ICOL	(-) 0,24 *	(-) 0,09
K	(-) 0,07	(-) 0,00
MAL	(+) 0,04	(-) 0,00
CFT	(-) 0,34 **	(-) 0,22 *
ANT	(+) 0,03	(+) 0,16
Vino		
pH	(+) 0,21 *	(+) 0,24 *
Acidez Total	(-) 0,00	(-) 0,03
Grado Alcohólico	(+) 0,04	(-) 0,01
IPT	(-) 0,09	(-) 0,09
ICOL	(+) 0,04	(+) 0,00
TT	(-) 0,01	(-) 0,01
AT	(-) 0,00	(+) 0,16

Niveles de significación: * p<0,05; ** p<0,01.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales.

El estudio de regresión realizado (Tabla 3) muestra una relación negativa del CFT de las uvas con el vigor e IAF, lo que confirma resultados obtenidos por Mínguez *et al.* (2003). Estos autores determinan cualquier actividad de crecimiento competitiva con la formación de compuestos fenólicos, taninos y antocianos.

El IAF tiene una relación negativa con el IPT. Existe una correlación directa entre los valores de IPT y la concentración de antocianos, compuestos responsables del color tanto en los mostos como en los vinos tintos (Blouin, 2004). Respecto a los resultados obtenidos en la Tabla 4, coinciden con otros estudios en los que relacionan las zonas de bajo vigor, con las mayores concentraciones de antocianinas (Lamb *et al.*, 2004; Stamatiadis *et al.*, 2006; Martínez-Casanovas *et al.*, 2012; Filippetti *et al.*, 2013). Como consecuencia de la disminución en el contenido de antocianinas, la intensidad colorante disminuye con el vigor, con una caída significativa en las absorbancias a 420 y 620 nm, correspondientes a las tonalidades amarilla y azul respectivamente.

No se observan relaciones significativas en la acumulación de azúcares evaluada mediante el grado brix, la acidez total del mosto o la concentración de ácido málico.

Respecto a los componentes fisicoquímicos estudiados en el vino, únicamente el pH tiene una relación positiva en relación con el vigor y la superficie foliar del viñedo; confirmando los resultados observados en otros estudios realizados en la variedad Tempranillo como el de Bonilla *et al.* (2015). El pH del vino, en los resultados obtenidos, tiene un valor medio de 3,8 oscilando entre 3,5 y 4,0 dentro de los estándares de calidad de la zona de estudio.

En la Tabla 4, se hace una comparación de medias entre tres grupos equilibrados de subzonas en el área de estudio, en función del peso de madera de poda, considerando como vigor bajo una media de 0,18 kg·m⁻², vigor medio 0,26 kg·m⁻² y vigor alto 0,35 kg·m⁻².

Tabla 4. Valores medios de los parámetros fisicoquímicos de mostos y vinos en zonas de vigor alto, medio y bajo.

PARÁMETROS	VIGOR BAJO		VIGOR MEDIO		VIGOR ALTO	
Mosto						
Brix	22,8	a	23,0	a	23,6	a
pH	3,81	a	3,88	a	3,85	a
Acidez Total (g·L⁻¹ TH₂)	4,59	a	4,52	a	5,01	a
NFA (mg·L⁻¹)	151	a	178	a	152	a
IPT (u.a)	28,2	a	31,6	a	25,5	a
ICOL (u.a)	14,9	a	14,6	a	12,6	a
K (mg·L⁻¹)	1272	a	1336	a	1212	a
MAL (g·L⁻¹)	2,51	a	2,59	a	2,63	a
CFT (u.a)	72,6	a	68,9	ab	58,3	b
ANT (mg·L⁻¹)	1493	a	1235	b	1622	a
Vino						
pH	3,78	b	3,81	b	3,96	a
Acidez Total (g·L⁻¹ TH₂)	5,70	a	5,33	a	5,82	a
Grado Alcohólico (%vol)	11,29	a	11,55	a	11,72	a
IPT (u.a)	56,3	a	53,0	a	52,8	a
ICOL (u.a)	12,2	a	10,9	a	11,0	a
TT (g·L⁻¹)	1,47	a	1,35	a	1,48	a
AT (mg·L⁻¹)	473	a	506	a	519	a

Los valores con diferente letra son significativamente diferentes p<0,05 en el Test de Tukey.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales; TH₂: ácido tartárico u.a: unidades de absorbancia

Dentro de este análisis de varianza se observa como en las zonas de mayor vigor, los parámetros colorimétricos (IPT, ICOL, A420 y A620) del mosto disminuyen sin llegar a ser significativos.

Respecto del CFT, se observa en la Tabla 4 una disminución progresiva conforme aumenta el vigor, al contrario que la concentración de antocianos en la baya, que tiene su máximo valor en las zonas de mayor vigor.

Por su parte, en la composición del vino, no se muestran significaciones para la acidez total o grado alcohólico, apreciándose en el grado alcohólico un ligero ascenso a medida que va aumentando el vigor. Las zonas de más bajo vigor, afectadas por situaciones de estrés hídrico y/o clorosis férrica más intensas en el área de estudio disminuirían la capacidad de acumular azúcares en la uva durante la maduración.

5.2. EFECTOS DEL RENDIMIENTO DEL VIÑEDO EN LA COMPOSICIÓN DEL MOSTO Y VINO.

Tabla 5. Coeficiente de determinación, nivel de significación y pendiente de la regresión de los parámetros fisicoquímicos del mosto y del vino sobre el rendimiento (kg uva· m⁻²).

PARÁMETROS	RENDIMIENTO	
Mosto		
BRIX	(-)	0,09
Acidez Total	(-)	0,02
IPT	(-)	0,06
NFA	(-)	0,03
pH	(-)	0,20 *
ICOL	(-)	0,15
K	(-)	0,18
MAL	(-)	0,32 **
CFT	(-)	0,01
ANT	(-)	0,01
Vino		
pH	(-)	0,15
Acidez Total	(+)	0,00
Grado Alcohólico	(-)	0,00
IPT	(-)	0,34 **
A620	(-)	0,28 *
ICOL	(+)	0,17
TT	(-)	0,27 *
AT	(-)	0,58 **

Niveles de significación: * p<0,05; ** p<0,01.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales.

En las regresiones analizadas en la Tabla 5, no se ponen de manifiesto relaciones significativas entre el rendimiento y el grado brix, la acidez total, IPT y la intensidad

colorante del mosto. Sin embargo, los resultados de la Tabla 6 muestran una separación de medias donde el menor grado brix se encuentra en las subzonas de rendimiento alto, de acuerdo con Poni *et al.* (1994).

Se encuentra una relación negativa entre rendimiento y pH del mosto, coincidiendo con los resultados obtenidos por Fregoni y Corazzina (1984), en los que obtuvieron un incremento de pH al restringir el rendimiento mediante aclareo de racimos. Como el pH, el contenido en ácido málico se ha relacionado negativamente con el rendimiento.

Con relación al vino, el rendimiento no tiene correlación con el grado alcohólico o la acidez total, sin embargo, tiene mucha influencia sobre sus características relacionadas con el color. El IPT va a tener una relación negativa, confirmando los resultados obtenidos en otros estudios en los que se observa cómo un aumento del rendimiento provoca un descenso del contenido polifenoles, relacionado con el descenso de antocianinas (Pérez, 2016). En el presente estudio se observan relaciones negativas entre rendimiento y la absorbancia a 620 nm, correspondiente a la tonalidad azul.

Tabla 6. Valores medios de los parámetros fisicoquímicos del mosto y del vino en zonas de rendimiento alto, medio y bajo.

PARÁMETROS	RENDIMIENTO BAJO		RENDIMIENTO MEDIO		RENDIMIENTO ALTO		
Mosto							
Brix	23,0	ab	23,7	a	22,6	b	
pH	3,88	a	3,83	a	3,81	a	
Acidez Total (g·L ⁻¹ TH ₂)	4,77	a	4,68	a	4,61	a	
NFA (mg·L ⁻¹)	179	a	146	a	166	a	
IPT (u.a)	29,4	a	28,7	a	28,2	a	
ICOL (u.a)	14,1	a	15,1	a	12,7	a	
K (mg·L ⁻¹)	1374	a	1266	a	1203	a	
MAL (g·L ⁻¹)	2,62	a	2,62	a	2,47	a	
CFT (u.a)	66,8	a	65,6	a	68,5	a	
ANT (mg·L ⁻¹)	1397	a	1534	a	1321	a	
Vino							
pH	3,91	a	3,84	a	3,78	a	
Acidez Total (g·L ⁻¹ TH ₂)	5,35	a	5,71	a	5,64	a	
Grado Alcohólico (%vol)	11,58	a	11,46	a	11,59	a	
IPT (u.a)	57,3	a	55,4	a	48,7	a	
ICOL (u.a)	12,2	a	11,8	a	9,8	a	
TT (g·L ⁻¹)	1,54	a	1,44	a	1,28	a	
AT (mg·L ⁻¹)	588	a	490	ab	421	b	

Los valores con diferente letra son significativamente diferentes $p < 0,05$ en el Test de Tukey.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales; TH₂: ácido tartárico u.a: unidades de absorbancia

El contenido de antocianos y taninos varía del análisis del mosto al del vino; esto se debe a que, durante la fermentación alcohólica, y con el transcurso del tiempo,

comienzan a aparecer otros pigmentos formados por la unión de antocianinas y taninos que van modificando la coloración del vino.

5.3. EFECTOS DEL EQUILIBRIO VEGETATIVO DEL VIÑEDO SOBRE LA COMPOSICION DEL MOSTO Y DEL VINO

El índice de Ravaz (IRV), o relación entre el fruto y la madera es según Howell (2001) la clave para mejorar tanto la calidad de la uva como el nivel de producción.

Tabla 7. Coeficiente de determinación, nivel de significación y pendiente de la regresión de los parámetros fisicoquímicos del mosto y del vino sobre los índices de equilibrio vegetativo

PARÁMETROS	IRV		IAF/RDTO	
Mosto				
BRIX	(-)	0,11	(+)	0,13
Acidez Total	(-)	0,087	(+)	0,070
IPT	(-)	0,00	(-)	0,00
NFA	(+)	0,00	(+)	0,15
pH	(-)	0,05	(+)	0,07
ICOL	(+)	0,00	(+)	0,01
K	(-)	0,01	(+)	0,07
MAL	(-)	0,31 *	(+)	0,11
CFT	(+)	0,10	(-)	0,02
ANT	(-)	0,02	(+)	0,11
Vino				
pH	(-)	0,30 *	(+)	0,29 *
Acidez Total	(+)	0,01	(-)	0,02
Grado Alcohólico	(-)	0,03	(-)	0,00
IPT	(-)	0,04	(+)	0,04
ICOL	(-)	0,06	(+)	0,05
TT	(-)	0,15	(+)	0,13
AT	(-)	0,31 *	(+)	0,65 **

Niveles de significación: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales.

Existen relaciones negativas entre IRV y la concentración de ácido málico, lo que se relaciona con el metabolismo de las cepas de acumulación y degradación de este ácido (Tabla 7). El IRV se relaciona negativamente con el pH del vino, obteniendo valores inferiores en las subzonas de IRV alto, en las que el nivel de producción de uva es superior al nivel de vigor de las cepas que le correspondería (Tabla 8). Como consecuencia de la relación existente entre el rendimiento y el pH (ver apartado anterior), se observa una tendencia a que en las zonas de IRV bajo los vinos tengan menos acidez y pH superior al resto de zonas.

El índice de IAF/rendimiento ha sido estudiado por autores como Tardáguila y Bertamini (1993), concluyendo que solo es posible obtener una óptima calidad de la uva si existe

un tamaño de vegetación suficiente por unidad de producción. Esta relación se considera un buen indicador de la composición fenólica de la uva (Smart y Robinson, 1991; Bertamini *et al.*, 1994; Tardáguila *et al.*, 2011). De acuerdo con esto, en el presente estudio, se ha obtenido una correlación positiva entre el índice de equilibrio y el contenido en antocianos totales del vino (Tabla 7).

Se observan en la Tabla 9, diferencias significativas tanto para la concentración de antocianos como de taninos totales del vino, encontrando valores superiores en las zonas de IAF/RDTO alto. Esto ocurre porque un buen IAF hace que haya una mayor tasa fotosintética por planta que va a repercutir en un aumento de la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos en las bayas.

Tabla 8. Valores medios de los parámetros fisicoquímicos de mostos y vinos en zonas de Índice de Ravaz alto y bajo.

PARÁMETROS	IRV BAJO		IRV ALTO	
Mosto				
Brix	23,3	a	23,0	a
pH	3,85	a	3,83	a
Acidez Total (g·L⁻¹ TH₂)	4,91	a	4,45	b
NFA (mg·L⁻¹)	158	a	166	a
IPT (u.a)	27,5	a	30,0	a
ICOL (u.a)	13,2	a	14,9	a
K (mg·L⁻¹)	1312	a	1247	a
MAL (g·L⁻¹)	2,65	a	2,51	b
CFT (u.a)	61,6	b	72,1	a
ANT (mg·L⁻¹)	1469	a	1389	a
Vino				
pH	3,94	a	3,75	b
Acidez Total (g·L⁻¹ TH₂)	5,52	a	5,65	a
Grado Alcohólico (%vol)	11,74	a	11,31	b
IPT (u.a)	54,7	a	53,2	a
ICOL (u.a)	11,3	a	11,4	a
TT (g·L⁻¹)	1,49	a	1,36	a
AT (mg·L⁻¹)	541	a	459	a

Los valores con diferente letra son significativamente diferentes $p < 0,05$ en el Test de Tukey.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales; TH₂: ácido tartárico u.a: unidades de absorbancia

Tabla 9. Valores medios de los parámetros fisicoquímicos de mostos y vinos en zonas equilibrio LAI/Rendimiento alto y bajo.

PARÁMETROS	IAF/RDTO BAJO		IAF/RDTO ALTO	
Mosto				
Brix	23,0	a	23,3	a
pH	3,81	a	3,87	a
Acidez Total (g·L⁻¹ TH₂)	4,60	a	4,77	a
NFA (mg·L⁻¹)	158	a	165	a
IPT (u.a)	28,2	a	29,3	a
ICOL (u.a)	13,8	a	14,4	a
K (mg·L⁻¹)	1213	a	1346	a
MAL (g·L⁻¹)	2,51	b	2,64	a
CFT (u.a)	67,3	a	66,4	a
ANT (mg·L⁻¹)	1406	a	1451	a
Vino				
pH	3,81	a	3,89	a
Acidez Total (g·L⁻¹ TH₂)	6,02	a	5,15	a
Grado Alcohólico (%vol)	11,62	a	11,46	a
IPT (u.a)	52,9	a	55,0	a
ICOL (u.a)	10,3	a	12,4	a
TT (g·L⁻¹)	1,31	b	1,54	a
AT (mg·L⁻¹)	441	b	559	a

Los valores con diferente letra son significativamente diferentes $p < 0,05$ en el Test de Tukey.

IPT: índice de polifenoles totales; NFA: nitrógeno fácilmente asimilable; ICOL: intensidad colorante; K: contenido en potasio; MAL: contenido de ácido málico; CFT: contenido fenólico total; TT: taninos totales; AT: antocianos totales; TH₂: ácido tartárico u.a: unidades de absorbancia

Se observan concentraciones superiores de ácido málico en las subzonas de equilibrio IAF/RDTO alto frente a las de bajo (Tabla 9), confirmando la importancia de la superficie foliar para la síntesis de este ácido.

6. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio muestran una relación inversa entre el crecimiento vegetativo del viñedo y el contenido en compuestos fenólicos (antocianos y taninos) de la uva y el vino, así como sobre la coloración de los vinos. El vigor de las cepas se ha relacionado con aumentos de pH en el vino, a pesar de no existir correlación para la acidez total o el grado alcohólico.

El rendimiento no estuvo correlacionado con el grado alcohólico o la acidez total del mosto, pero si se encontraron relaciones negativas para el pH. Se asociaron rendimientos más bajos con mayores concentraciones de taninos y antocianos en los vinos.

Se observaron correlaciones negativas del IRV con el contenido de ácido málico, siendo este índice un buen indicador del pH y la acidez del vino, detectando mayores potenciales de calidad en las zonas de índice bajo. Ratios de superficie foliar a rendimiento crecientes se relacionaron con aumentos en la concentración de antocianos y taninos del vino y su intensidad colorante.

Los resultados obtenidos demuestran la potencial utilidad de los índices de equilibrio vegetativo para la microzonificación del viñedo en viticultura de precisión, especialmente de cara a la obtención de mapas de calidad relacionados con el contenido fenólico y color de los vinos tintos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer la colaboración y ayuda que han hecho posible la elaboración de este trabajo de fin de carrera a mi tutor Pedro Martín Peña, así como mis cotutores M^a Rosa González y Jose Manuel Rodríguez.

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos RTA2014-00077-C02-02 (INIA - Ministerio de Economía y Competitividad) y VA013P17 (Junta de Castilla y León), y ha sido cofinanciado con Fondos FEDER.

7. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-Fernández A. Calidad y eficacia de los quelatos férricos (FeDDHA, FeEDDHMA, FeEDDHSA, FeEDDHCA) como fertilizantes. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 2000.

Bate-Smith EC. Astringent tannins of the leaves of Germaine species. *Phytochemistry*. 1981; 20: 211-216.

Blouin J, Peynaud E. *Enología práctica. Conocimiento y elaboración del vino*. 4^a Edición. Madrid. ed. Mundi-Prensa; 2004.

Bonilla I, Martínez de Toda F, Martínez-Casasnovas JA. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: Analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2015; 13(2) e903

Bramley R. Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2005; 11(1): 33-42.

Cabello F, Ortiz, JM, Muñoz Organero G, Rodríguez I, Benito A, Rubio C, García Muñoz S y Sáiz R. *Variedades de vid en España*. Editorial Agrícola. Madrid. 2011.

Carbonneau A. Stress moderés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. En: O.I.V ed.3ª .Bordeaux (France). Symposium internacional sur la Physiologie de la Vigne.1987; 378-385.

Champagnol F. La densité de plantation en viticulture. Le Progrès Agricole et Viticole. 1979; 8: 185-195.

Champagnol F. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. Saint Gely du Fesc. France. 1984. 351 p.

Comisión Europea. Reglamento (CEE) no 2676/90 de 17 de septiembre de 1990 por el que se determinan los métodos oficiales de análisis de vinos, zumos y mostos de uva. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L272 (3 de octubre de 1990). Comisión Europea (Ed.) Bruselas. 1990; 1-192

Esser A, Ortega R y Santibáñez O. Viticultura de precisión: nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en viñas. *Agronomía y Forestal UC*. 2002; 15: 4-9.

Fleet GH y Heard GM. *Yeast. Growth during fermentation. Wine microbiology and biotechnology*. En: Graham H. Fleet. Harwood Academic Publisher. Switzerland. 1993; 27-54.

Filippetti L, Allegro G, Valentini G, Pastore C, Colucci E, Intrieri C. Influence of vigour on vine performance and berry composition of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). International journal of vine and wine sciences. 2013; 47(1): 21-33.

Fernández J, Balcar J, Meyer LH. Influencia de la iluminación sobre la actividad fotosintética de las hojas de vid cultivada en espaldera. ed. Turrialba. 1977; 27 (1): 3-6.

Fregoni M y Corazzina E. Osservazioni triennali sul diradamento dei grappoli di Garganega nel Soave. ed. Vignevini. 1984; 7-8,11-14.

García Barceló J. *Compuestos fenólicos*. En: Técnicas Analíticas para Vinos. G.A.B. ed. Moja-Olérdola. 1990; 8: 3-33.

Glories Y. Recherches sur la matière colorantes des vins rouges. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux II. 1978. 364 p.

González CM. Estudio ecofisiológico y agronómico de cuatro sistemas de conducción de la vid (*Vitis vinifera* L.): cubiertas vegetales simple versus divididas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2003. 280 p.

González-Fernández AB, Marcelo V, Valenciano JB, Rodríguez-Pérez JR. Análisis de la variación espacio- temporal de variables vitivinícolas mediante el uso de sistemas de información geográfica. XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Huesca. 2011.

Hidalgo L y Hidalgo Togores J. Tratado de viticultura. 4º rev y amp ed. Mundi prensa. Madrid. 2011.

Hidalgo L y Candela MR. Influencia de la densidad y disposición de plantación en la producción del viñedo. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. Madrid. 1966; 9-63.

Howell GS. Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2001; 52(3):165-174.

Hunter JJ y Archer E. Short-term cultivation strategies to improve grape quality. Proc. VIII Viticulture and Enology Latin-American Congress, November. Montevideo, Uruguay. 2001;12-16.

Kliewer WM, Marois JJ, Bledsoe AM y Smith MJ. Relative effectiveness of leaf removal, shoot positioning, and trellising for improving wine grape composition. 2nd Int. Cool Climate Vitic. and Oenol. Symp. Auckland, Nueva Zelanda. 1988.

Lamb DW, Weedon MM y Bramley RGV. Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard. Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2004; 10: 46-54.

Lopes C y Castro R. Principios fundamentais a considerar em estudos sobre sistemas de conducao da vinha. *Ciencia Tecnología y Vitivinicultura*. 1989; 8 (1-2): 55-70.

Lopes C y Pinto PA. *Estimation de la surface foliaire principale et secondaire d'un sarment de vigne*. En: GESCO. Xèmes journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne. Mai, Changins, Suisse. 1998; 42-47

Marchevsky PL. Viticultura de precisión. *ACE*. 2005; 63 (1).

Masneuf I y Dubourdieu D. L'azote asimilable: intérêt de son dosage par formoltitration; étude de quelques paramètres á l'origine des variations des a teneur dans les mouts. *Revista Oenol. France*. 1999; 93: 31-32.

Mínguez S, Sella J, Espinas E y Villaroya A. *Influencia de las actividades culturales en la composición fenólica de la uva*. En: Blanco JA, Bragado JM. El sector vitivinícola en Castilla y León. Historia y claves de una recuperación. 1^a ed. Zamora: UNED. 2003; 392-410.

Murisier F y Spring JL. Influence de la hauteur du tronc et de la densité de plantation sur le comportement de la vigne. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture*. 1986; 18 (4): 221-224.

Pérez E. Vigor, rendimiento y composición del mosto en viñedos de Tempranillo afectados por clorosis férrica en la D.O. Ribera del Duero. Trabajo de fin de grado. Universidad de Valladolid. 2016. 31p.

Pérez M^aA. Densidad de plantación y riego: Aspectos ecofisiológicos, agronómicos y calidad de la uva en cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.). Tesis Doctoral, Dpto. Producción vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 2002. 287 p.

Poni S, Lakso AN, Tumer JR, y Melious E. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grow Concord grapevines. *The American Journal of Enology and Viticulture*. 1994; 45 (2): 252-258.

Reynier A. *Manual de Viticultura*. Madrid. Ed: Mundi-Prensa. 1995. 407 p

Romero I. Extracción de compuestos fenólicos de la uva al vino. Papel de los enzimas de maceración. 2008; 273 p.

Saint-Cricq de Gaulejac N, Vivas N. y Glories Y. Maturité phénolique: définition et contrôle. *Revue Française d'Oenologie* 1998; 173: 22-25.

Sánchez P. Producción y distribución de fotoasimilados en la vid (*Vitis vinifera* L.) durante el periodo de maduración. Cambios en la respuesta foto- sintética a la luz de las hojas por factores biológicos, ambientales y culturales. Tesis Doctoral. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 2007. 415 p.

SAS INSTITUTE. *SAS Procedure Guide, Version 9.1.3*. SAS Institute Inc. Cary (Estados Unidos). 2004.

Smart RE, Dick JK, Gravett IM y Fisher B.M. Canopy management to improve grape yield and wine quality principles and practices. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 1990; 11: 3-17.

Smart RE y Robinson M. *Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management*. Ed. Ministry of Agriculture and Fisheries, New Zealand. 1991. 88 p.

Sotés V. El riego en el viñedo: efectos en la producción y en la calidad de la uva. En: Blanco JA, Bragado JM. *El sector vitivinícola en Castilla y León. Historia y claves de una recuperación*. 1ª ed. Zamora: UNED; 2003. p. 303-316.

Tardáguila J y Bertamini M. "Canopy management" o gestión del follaje: una potente técnica para mejorar la producción y la calidad de la uva. *Vit./Enol. Prof.* 1993; 28: 31-46.

Tardáguila J, Baluja J, Arpon L, Balda P y Oliveira MT. Variations of soil properties affect the vegetative growth and yield components of Tempranillo grapevines. *Precision Agriculture*. 2011; 12: 762-773

Veilksar SG, Toma SI. y Kreidman J. Effect of Fe-containing compounds on the chlorosis manifestation and grape quality. *International Workshop on Vineyard Mechanization and Grape and Wine Quality*. Venosa, Italy. 2005.

Yañez J. Análisis de suelos y su interpretación. *Horticultura*. 1989; 49: 75-84

Yuste J. Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinifera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. Tesis Doctoral. Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 1995. 280 p.

Yuste J, Martín H, Yuste R, Albuquerque M^ªV y Barajas E. Determinación de la superficie foliar y la materia seca de hojas de Tempranillo a partir de su peso fresco en

tres densidades de plantación. XXIX Congreso Mundial de la Viña y el Vino OIV. Logroño (España). 2007; 1: 146-148.

Zamora F. Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos. Ed: Mundi-Prensa. 2003. 225p.