

UCH-Fc
B. Ambiental
S 161
CL



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

“INFLUENCIA DE DIFERENTES DOSIS DE POTASIO EN LA CALIDAD DE LA UVA Y LA NUTRICIÓN DE *Vitis vinifera* cv. TEMPRANILLO.”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con mención en medio ambiente

CAROLINA SALAZAR PARRA



Dr. Fermin Morales Iribas
Universidad de Navarra. España
Director del Seminario de Titulo

Dr. Michael Handford
Universidad de Chile
Co-director del Seminario de Titulo

Abril 2014

Santiago - Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Sra. Carolina Salazar Parra.

“INFLUENCIA DE DIFERENTES DOSIS DE POTASIO EN LA CALIDAD DE LA UVA Y LA NUTRICIÓN DE *Vitis vinifera* cv. TEMPRANILLO.”

Este Seminario ha sido aprobado por la Comisión evaluadora y revisora, como requisito parcial para optar al título profesional de Bióloga con Mención en Medio Ambiente.

Dr. Fermín Morales Iribas
Director Seminario de Título

Dr. Michael Handford
Co-Director

Comisión Revisora y Evaluadora

Dr. Francisco Pérez Correa
Presidente Comisión

Dr. Claudio Pastenes Villarreal
Evaluador

The image shows three horizontal lines representing signature lines. The top line has a blue signature. The middle line has a blue signature. The bottom line has a green signature. There is also a green checkmark-like mark below the bottom line.



Santiago de Chile, Octubre 2014

BIOGRAFÍA

Carolina Salazar Parra, Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad de Chile en el año 2004 y egresada de Biología Ambiental en el año 2005. Realizó estudios de postgrado en la Universidad Pública de Navarra y en la Universidad de Navarra, España, desde el año 2005 hasta el año 2012. Durante este tiempo obtuvo los títulos de Experta en Ingeniería y gestión medio ambiental, Master en Agrobiología ambiental y Doctora en Biología y Medio Ambiente. Durante este tiempo se especializó principalmente en fisiología vegetal. Su trabajo se ha desarrollado en el análisis de los impactos del cambio climático sobre la viticultura. Durante el tiempo que se encontró en España desarrollando su doctorado, realizó de forma anexa, los experimentos que se detallan en esta memoria para la obtención del título de Bióloga Ambiental.

A Diego y mi Gus

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Biología Vegetal, sección Biología Vegetal, de la Universidad de Navarra por permitirme la realización de este ensayo experimental mientras realizaba mis estudios de doctorado.

Al Dr. Fermín Morales, por su guía y apoyo constante, aunque sea desde otro continente.

Al Dr. Michael Handford, por ayudarme para, por fin, presentar esta memoria de título.

INDICE

INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
ABREVIATURAS	viii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
1. La vid	3
2. El mercado de la uva y el vino	9
3. Nutrición mineral en la vid	10
4. Potasio	13
5. Condiciones controladas de invernadero	18
6. Esquejes fructíferos de vid	18
HIPOTESIS	20
OBJETIVOS	20
MATERIALES Y METODOS	21
1. Desarrollo de esquejes fructíferos del cv. Tempranillo	21
2. Diseño experimental	22
3. Índice de cuajado	24
4. Cosecha	24

5. Calidad de las bayas	25
6. Análisis mineral	27
7. Análisis estadístico	28
RESULTADOS	30
1. Obtención de esquejes fructíferos del cv. Tempranillo	30
2. Análisis estadístico	31
3. Madurez Tecnológica	33
4. Madurez Fenológica	36
5. Macronutrientes	38
6. Micronutrientes	41
DISCUSIÓN	44
1. Efectos en la madurez tecnológica	44
2. Efectos en la fertilidad y peso de las bayas	46
3. Efectos en la madurez fenológica	46
4. Efectos en los macronutrientes	47
5. Efectos en los micronutrientes	51
6. Dosis recomendada para fertirrigar vides en invernadero	53
CONCLUSIONES	55
PROYECCIONES	56
BIBLIOGRAFIA	57

INDICE DE TABLAS

<u>Tabla 1. Clasificación taxonómica de la <i>Vitis vinifera</i> cv. Tempranillo</u>	<u>3</u>
<u>Tabla 2. Valores medios de concentración de nutrientes en racimos.</u>	<u>11</u>
<u>Tabla 3. Concentraciones de Macronutrientes utilizadas en las soluciones nutritivas modificadas desde la solución Half Hoagland.</u>	<u>22</u>
<u>Tabla 4. Análisis estadístico para los parámetros de calidad.</u>	<u>31</u>
<u>Tabla 5. Análisis estadístico para los parámetros nutricionales</u>	<u>32</u>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la vid	4
Figura 2. Ciclo vegetativo y reproductor de la vid, durante el año en el hemisferio norte	5
Figura 3. Estadios fenológicos de la vid según Baillod y Baggiolini, 1993 y Adaptada de Galet, 1995.	8
Figura 4. Producción mundial de vino según la OIV desde el año 2000 hasta el 2013.	9
Figura 5. Absorción de nitrógeno (N), potasio (K) y fosforo (P), según los meses del año para el hemisferio sur.	12
Figura 6. Sintomatología visual de los efectos de la deficiencia de potasio en hojas de vid.	17
Figura 7. Diseño experimental.	23
Figura 8. Diagrama de flujo del análisis estadístico realizado en base a datos cuantitativos.	28
Figura 9. Fenología de una planta del cv. Tempranillo que ha sido sometida a la técnica de esquejes fructíferos de vid.	30
Figura 10. Numero de bayas por racimo (A), peso de racimo (B), peso de 100 bayas (C) e índice de cuajado (D) en plantas de <i>Vitis vinifera</i> cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio en solución nutritiva desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición.	33

Figura 11. Sólidos solubles totales (A), ácido málico (B), pH (C) y acidez total (D) en bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. 35

Figura 12. Intensidad Colorante (A), e índice de tonalidad (B) en bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. 36

Figura 13. Antocianinas totales (A), antocianinas potenciales (B), extractabilidad de las antocianinas (EA%) (C), madurez fenólica de las pepitas (Mp%) (D), índice de polifenoles (E) y taninos (F) en bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. 37

Figura 14. Macronutrientes en hojas, peciolo y bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. 40

Figura 15. Micronutrientes en hojas, peciolo y bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. 43

LISTA DE ABREVIATURAS

A_x : Absorbancia a X longitud de onda
ANOVA: Análisis de la varianza
AOAC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
ATP: Adenosíntrifosfato, del inglés AdenosineTriPhosphate
Ca: Calcio
CaO: Óxido de calcio
Ca(NO₃)₂ 4H₂O: nitrato de calcio 4-hidrato-
cv.: Cultivar
Cu: Cobre
DW: Peso seco, del inglés Dry Weight
EA%: Extractabilidad de los antocianos
H: Hierro
IC: Intensidad colorante
IPT: Índice de polifenoles totales
K: Potasio
K₂O: Óxido de potasio
K⁺: Ion potasio
KNO₃: Nitrato de potasio
KH₂PO₄: Fosfato de potasio monobásico
L.: Linneo
Mg: Magnesio
MgO: Óxido de Magnesio
MgSO₄ 7H₂O: Sulfato de magnesio heptahidratado
Mhl: Millones de hectolitros
Mp%: Madurez fenólica de las pepitas
Mn: Manganeso
N: Nitrógeno
(NH₄)₂HPO₄: Fosfato Biamonico
P: Fosforo
P₂O₅: Óxido de fósforo (V)
OIV: Organización internacional de la viña y el vino
IT: Índice de tonalidad
Zn: Zinc

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la aplicación de diferentes dosis de potasio en *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo en el estatus nutricional de la planta y en la calidad de la uva. Para cumplir este objetivo, se realizaron estudios de invernadero con plantas fructíferas del cv. Tempranillo. Estas plantas fueron obtenidas mediante la técnica de esquejes fructíferos de vid, propuesta por Mullins en 1966. Luego de la aparición de la inflorescencia se aplicaron diferentes dosis de K (3,5; 2,6; 1,75; 0,88 y 0 mM) en una solución nutritiva HalfHoagland modificada y equilibrada. Las plantas se mantuvieron hasta la madurez (ó 150 días). En la floración se determinó el porcentaje de cuajado y en la cosecha se realizaron análisis de madurez tecnológica y fenólica de la uva y análisis de macro y micronutrientes en bayas, peciolo y hojas.

Los resultados obtenidos indicaron que la ausencia de potasio en la solución nutritiva aportada a plantas de vid regadas por fertirriego, produce que las bayas no logren la acumulación de sólidos solubles necesarias para alcanzar la madurez. Esto conllevó a que la acidez total no disminuyera y que el ácido málico, mantuviera niveles altos. Además de presentar un pH más reducido y una baja acumulación de antocianinas. Estos resultados muestran que efectivamente un déficit de potasio afecta la maduración y calidad de las bayas. Asimismo, un exceso de potasio (3,5 mM) no demostró efectos beneficiosos sobre las plantas de vid. Se observó una disminución de la calidad de la uva, con una baja concentración de antocianinas y bajo índice de extractabilidad. A su vez, este tratamiento no logró disminuir la acidez total ni el ácido málico, manteniendo niveles similares a los encontrados en el tratamiento de 0 mM de K. En conclusión, los resultados expuestos demuestran que la ausencia de potasio y el exceso de este puede producir uvas de mala calidad. A modo de recomendación, se considera que la mejor concentración de potasio en la solución nutritiva es de 0,88 mM, pues ésta mantiene un buen balance de producción y calidad de bayas cuando son sometidas a la técnica de esquejes fructíferos y mantenidas en invernadero.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the influence of different doses of potassium in the nutritional solution (Half Hoagland) in grape quality and nutritional status of cv. Tempranillo. To accomplish this objective, a greenhouse study was conducted using fruiting cuttings of cv. Tempranillo. Plants were manipulated according the Mullins technique (1966). After the appearance of inflorescences, plants were irrigated with 3,5; 2,6; 1,75; 0,88 and 0 mM K in the nutritional solution. Plants were maintained in the treatments until maturation. In flowering, the fruit set index was determined. At harvest, petioles, berries and leaves were collected for determining: technological maturity and phenological maturity, and mineral analyses.

Results obtained indicates that a potassium deficit inhibit the maturation processes in grapevine. Grapes were not able to accumulate total soluble solids and anthocyanins to achieve maturity. In addition, malic acid was maintained at high levels at maturity, and consequently total acidity was not reduced after 150 days of growth. A potassium deficit affected the quality of grapes, however an excess this mineral (3.5 Mm) did not increased the berries quality. A potassium excess produce lower anthocyanins concentration and lower extractability index. Similar effects on pH and total acidity were found in excess and deficit of potassium treatment: high levels of malic acid and total acidity after 150 days of growth.

In conclusion, results showed that the deficit and excess of potassium could produce berries with lower quality indexes. In the present test the best condition was detected when grapevine fruiting cuttings were irrigated with 0.88 mM of potassium in Hoagland solution, producing a good balance between production and berries quality.

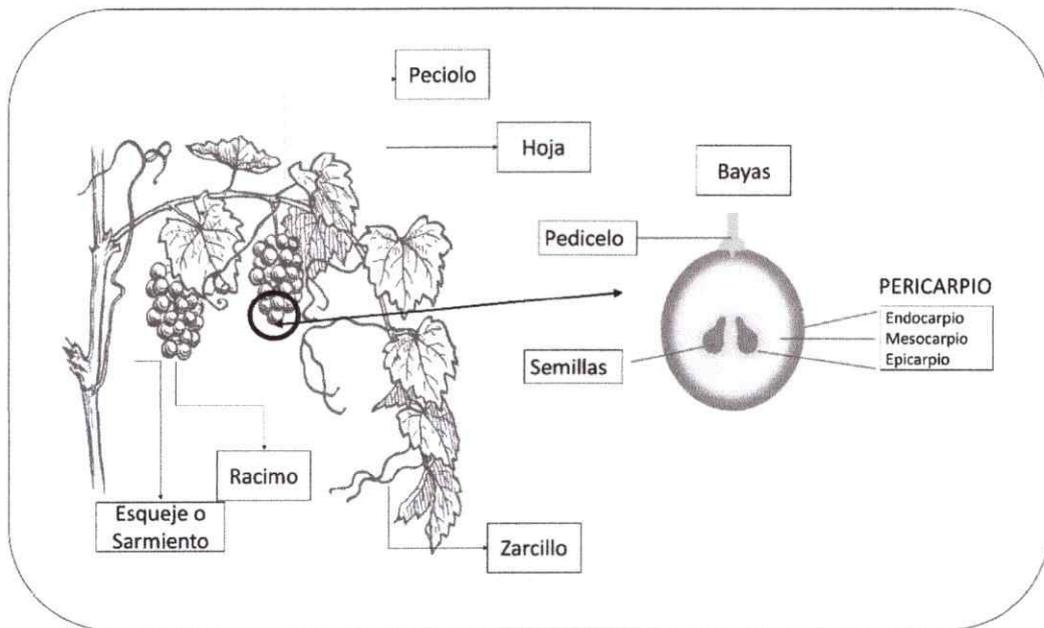


Figura 1. Partes de la vid, con detalle en la baya.

Cada año el desarrollo de la vid se traduce en dos ciclos de crecimiento, el ciclo vegetativo y el ciclo reproductor (Martínez de Toda 1991; Reynier 2005) (Figura 2). Durante el invierno, se produce el denominado reposo invernal, donde producto del acortamiento del foto-período y de las bajas temperaturas la vid entra en un periodo de dormancia. Con el aumento de la temperatura en primavera las reservas de la planta comienzan a ser movilizadas comenzando el periodo de desborre, que manifiesta visiblemente el crecimiento e inicia el desarrollo celular del aparato vegetativo. Tras el desborre comienza la fase de crecimiento y en verano, con la madurez fisiológica, la vid comienza el proceso de acumulación de azúcares que llevará finalmente a la etapa de vendimia (Martínez de Toda 1991; Bujan 2003; Reynier 2005).

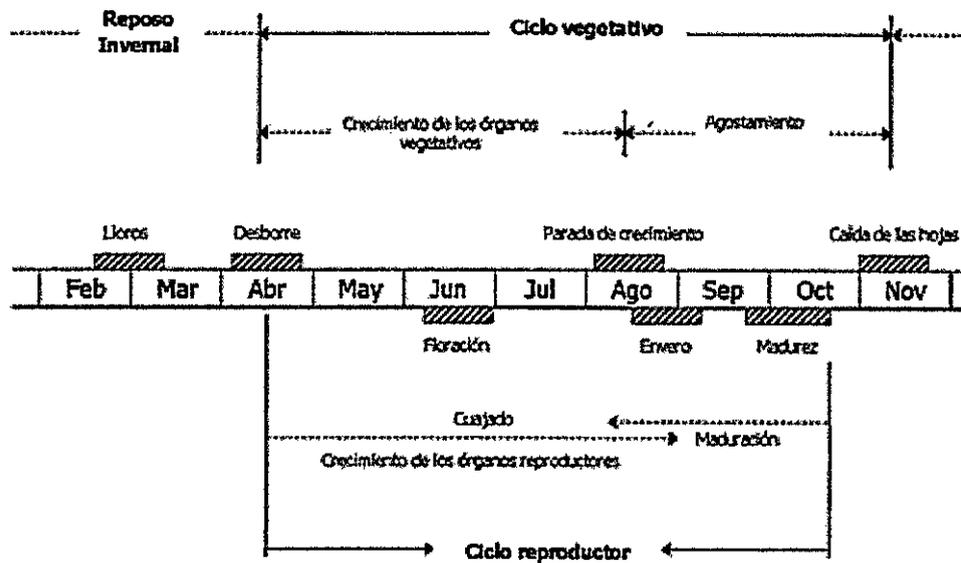


Figura 2. Ciclo vegetativo y reproductor de la vid, durante el año en el hemisferio norte (Reynier 2005)

El fruto de la vid es en racimo y sus bayas poseen diversas formas y colores dependiendo de la variedad. El racimo está compuesto por el raspón y las bayas. El raspón es el soporte leñoso y arborescente del que están sujetas las uvas (Figura 1). Es rico en sustancias fenólicas, potasio (K) y agua. La baya, por su parte, es un fruto carnoso y succulento, unido al raspón mediante un peciolo. La baya está compuesta de tres partes (Bujan, 2003):

1. Pulpa: representa el aproximadamente el 80-85% del peso fresco total del racimo. Aporta ácidos orgánicos, sales minerales, pectinas, vitaminas, etc. En general no aporta color, a excepción de variedades como por ejemplo las denominadas "Tintoreras"

2. Semillas o pepitas: Aportan taninos al vino y son ricas en aceites. Algunas variedades no poseen semillas; esta característica es altamente buscada en el mercado de uva de mesa, en las denominadas variedades “seedless”
3. Piel u hollejo: Contiene celulosa, pectinas, proteínas y taninos. Además de sustancias aromáticas y colorantes (antocianinas en uvas negras).

El crecimiento de la baya tiene dos periodos separados entre sí por el envero. La primera etapa de crecimiento es herbácea, cuando se produce la fecundación de los ovarios, comienza la multiplicación celular y el crecimiento de la baya, el cual en un inicio es muy rápido. Las bayas en fecundación miden aproximadamente entre 1-2 mm, llegado a alcanzar en uvas viníferas entre 10 a 20 mm y en uvas de mesa pudiendo superar los 25-27 mm. Antes de tomar color, las bayas verdes tienen alta concentración de ácidos y baja concentración de azúcares. Luego de esta etapa comienza el denominado envero o pinta, donde las bayas blancas se vuelven traslucidas y las tintas comienzan a colorearse. En este periodo las bayas adquieren mayor elasticidad y los cloroplastos ya no están presentes. Durante el envero se comienza una rápida movilización de reservas de almidón a las bayas y se produce una ralentización del crecimiento herbáceo. Luego del envero, el último periodo de crecimiento es la maduración, la cual comienza con el envero y termina al alcanzar la madurez de las bayas. Este periodo se caracteriza por una evolución química, donde se producen cambios importantes en los azúcares, ácidos orgánicos y polifenoles (Martínez de Toda, 1991; Martínez de Toda, 2008).

Los azúcares durante la maduración se acumulan rápidamente en las bayas y la acidez comienza a descender. El ácido málico, uno de los ácidos principales en la vid, comienza a sufrir cambios en sus concentraciones que, en conjunto con un aumento del agua en las bayas, provoca la disminución de la acidez total. Los polifenoles, en especial las antocianinas, están ligados con el incremento en la acumulación de azúcares, incrementándose durante el periodo de maduración (Martínez de Toda, 1991; Martínez de Toda, 2008).

Varios autores (Baillod y Baggiolini, 1993; Galet 1995, Coombe 2002), han clasificado el ciclo de crecimiento de la vid para facilitar su manejo agronómico. Una clasificación simple con las etapas más importantes en el crecimiento vegetativo y fructífero de *V. vinifera* fue propuesta por Baillod y Baggiolini en 1993 y posteriormente modificada por Gallet en 1995. Esta clasificación fenológica divide los estadios en 16 etapas desde yema de invierno hasta caída de hojas y les adjudica una letra desde la A a la P (Figura 3), con el fin de unificar los criterios fenológicos y facilitar el manejo de la vid en campo.

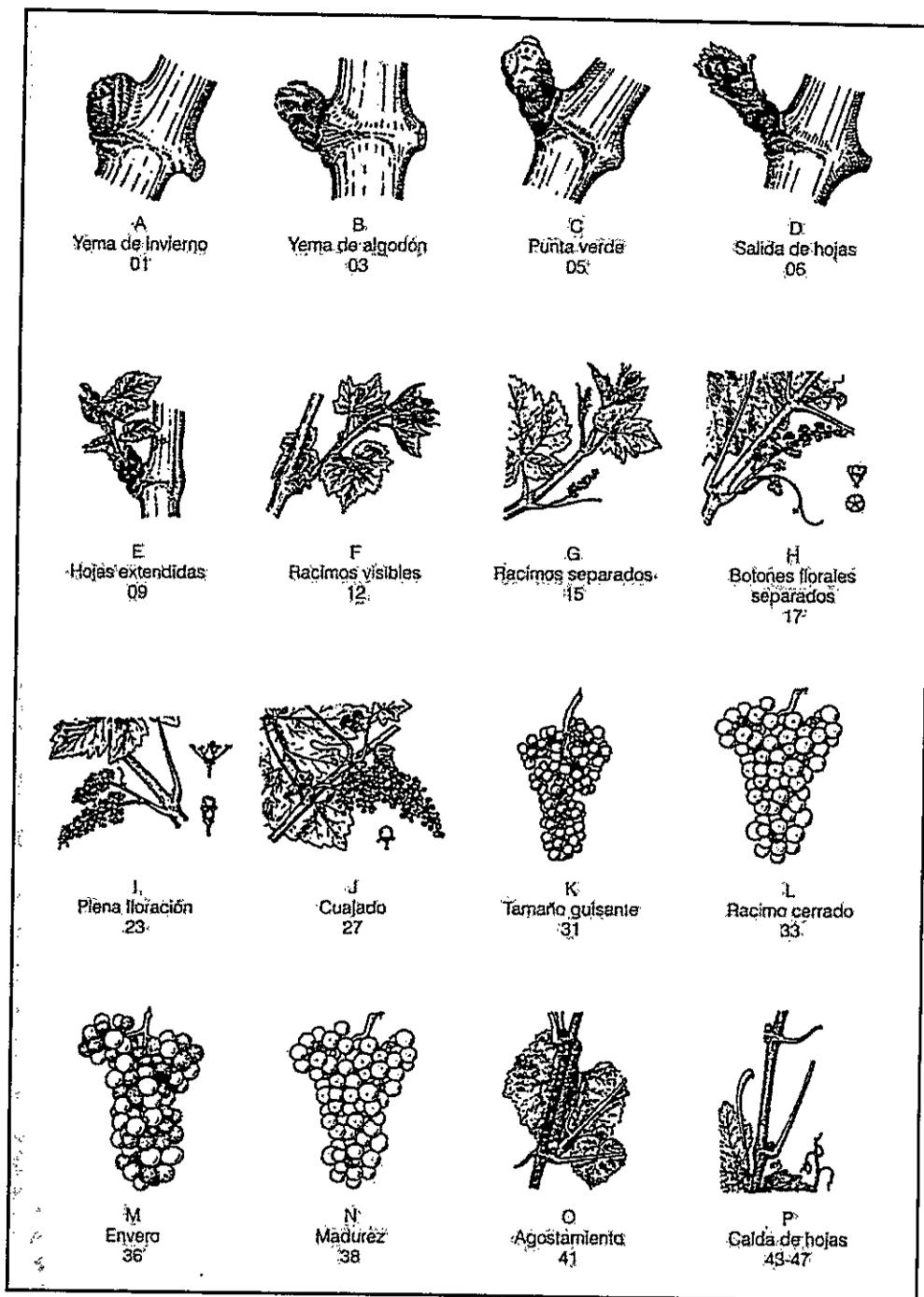


Figura 3. Estadios fenológicos de la vid según Baillod y Baggiolini, 1993 y Adaptada de Galet, 1995.

2. El mercado de la uva y el vino

La vid es una especie que se ha diversificado mundialmente. Según la Organización Internacional de la Vid y el Vino (OIV), España es el país con la mayor superficie de viñedos del mundo, aunque su superficie está estabilizada y no continua creciendo. Sin embargo, otros países como Chile, Argentina y Brasil han aumentado su superficie de plantación durante el año 2013 (OIV, 2013).

Según las estimaciones de la OIV, en el año 2013 la producción mundial de vino (Figura 4) se situó entre los 276,5 y 285,4 millones de hectolitros y el consumo mundial durante ese año se incrementó levemente, siendo el primer aumento de consumo desde el año 2007. En cuanto a las exportaciones de vino, España y Chile se encuentran entre los principales exportadores (3 y 7 puesto respectivamente según datos de la OIV en el año 2013) (OIV, 2013).

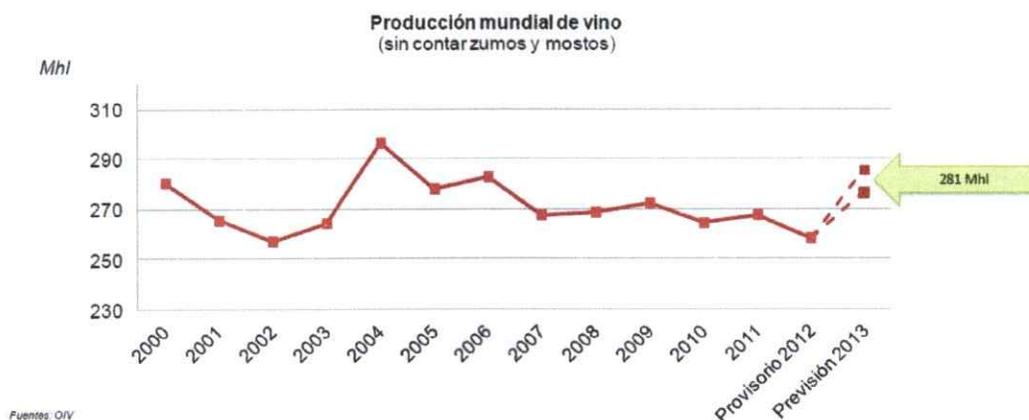


Figura 4. Producción mundial de vino según la OIV desde el año 2000 hasta el 2013. Fuente OIV. (Mhl: millones de hectolitros)

El cultivar Tempranillo es la variedad española más reconocida a nivel mundial. Internacionalmente destaca por sus vinos tintos de alta calidad (Intrigliolo y Castel 2009) y es, además, la que ocupa la mayor superficie de cultivo en España. El tempranillo, también llamado tinto fino, es cultivado principalmente en La Rioja, La Mancha y Cataluña. Es una cepa vigorosa, con un racimo de tamaño medio, compacto y alargado. La baya es de forma redonda y con piel de consistencia media. El vino procedente de esta variedad es equilibrado, de color estable, con poca intensidad y suele graduarse entre 10 y 12° (Bujan 2003).

3. Nutrición mineral en la vid

Una fertilización adecuada, en cultivos de campo o invernadero, es necesaria para obtener plantas de calidad. Un aporte nutricional inadecuado afecta tanto a la planta como al suelo. La deficiencia y el abuso de fertilizantes producen desbalances nutricionales que afectan la producción y calidad de la vid.

Durante su ciclo anual de crecimiento, la vid se ve afectada por las condiciones climáticas, tipo de suelo, suministro de nutrientes, etc. y esto podría ser determinante para la cantidad y calidad del rendimiento (Peuke 2009). El efecto beneficioso de la adición de elementos minerales a los suelos para mejorar el crecimiento de la planta ha sido conocido en la agricultura por más de 2.000 años. Desde los finales del siglo XIX, especialmente en Europa, se utilizan grandes cantidades de potasio, superfosfato, y nitrógeno inorgánico en la agricultura y la horticultura para mejorar el crecimiento de las plantas (Marschner

1995). El objetivo de la fertilización es aportar a las plantas nutrientes adicionales a los que proporciona el suelo.

La vid posee un ciclo anual complejo, donde cada etapa de crecimiento posee unos requerimientos nutricionales específicos. Durante los primeros años de desarrollo, los principales requerimientos de la vid son de nitrógeno y calcio, pero cuando comienza la etapa productiva es el K el elemento más requerido por las plantas (Hirzel, 2008). Para las viñas, los problemas más comunes resultan de las deficiencias y excesos de nitrógeno, deficiencias de potasio, zinc, boro y manganeso (Gil and Pszczolkowski, 2007). En la mayoría de los casos las aplicaciones realizadas al suelo son de N, P y K, ya que las carencias en estos tres elementos producen un mayor impacto en el crecimiento de las viñas.

Según la bibliografía y a modo de orientación se manejan valores referenciales de nutrientes que son los adecuados de encontrar en bayas de vid de buena calidad. Datos similares para la variedad Tempranillo son escasos en la literatura. Estos valores se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Valores medios de concentración de nutrientes en racimos.

Variedad/Cultivar	Nutrientes (mg 100 g ⁻¹ fruta fresca)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Princess (uva de mesa)	80-90	34-40	190-200	10-12	9-10
Carmenere (uva de vino)	45-60	22-25	170-190	5-6	7-9

Fuente: Adaptado por Hirzel 2008.

La absorción de nutrientes en la vid, tiene un patrón estacional marcado. Según lo adaptado por Hirzel 2008, la mayor absorción de nutrientes se concentra en el periodo de crecimiento herbáceo y fructífero de la vid. La absorción de K encuentra su mayor nivel en los meses de verano (Enero y Febrero en el hemisferio sur y Julio y Agosto en el hemisferio norte), donde las plantas se encuentran en periodo de madurez (Figura 5).

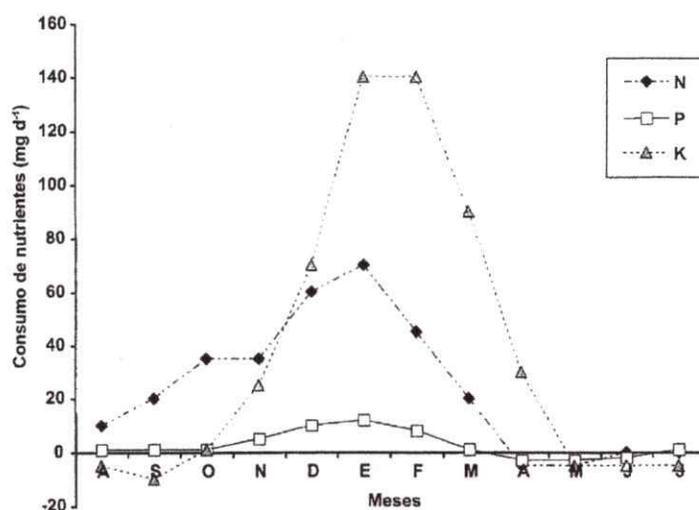


Figura 5. Absorción de nitrógeno (N), potasio (K) y fosforo (P), según los meses del año para el hemisferio sur. Adaptado por Hirzel 2008.

Durante la primavera, luego del desborre, es donde pueden producirse deficiencias de K en las viñas. Es aquí donde la vid consume aproximadamente el 50% de las reservas de K invernales, las que sostienen el crecimiento (GrootObbink et al, 1973; Conradie 1981; Conradie y Saayman 1989). Existen algunos parámetros para considerar deficiente la cantidad de potasio aportado en la fertilización, así por ejemplo si las hojas poseen menos del 1% de K en su peso seco, 100mg/100g de peso fresco de frutos o menos de

2.400 ppm en peciolo son considerados como deficientes (Gil and Pszczolkowski, 2007). El suelo donde se encuentran las plantaciones de viñedos puede presentar deficiencias de K debido a las exigencias de la planta y la fertilización correctiva suele ser necesaria (Ruiz y Sadzawa, 2005).



4. Potasio

El potasio es considerado un macronutriente, ya que las plantas lo requieren en altas concentraciones, aun sin tener un rol estructural como el nitrógeno. En la planta el potasio cumple un rol osmótico fundamental; cuando ingresa K se produce una presión osmótica que propicia la entrada de agua diluyendo la concentración de K. Esta entrada de agua, le proporciona a la planta turgencia adicional lo que posibilita la expansión celular (Ruiz and Sadzawka, 2005).

Más aun, el K es un activador o co-factor de muchas enzimas, actúa en los procesos de transporte a través de membranas celulares y translocación de asimilados (Mpelasoka et al 2003; Niu, Xu et al 2008). En vid, se conoce que el potasio mejora el crecimiento de brotes, incrementa la resistencia a las enfermedades y al frío, promueve la acumulación de azúcar y almidón en las bayas y órganos leñosos, ayuda a controlar el estado del agua y los niveles de acidez en las bayas (Bavaresco, et al . 2010).

En periodos de sequía, el aporte de K es más requerido por las plantas, ya que está directamente relacionado con la regulación de los estomas. Para la apertura de las células de guarda de los estomas, se requiere un incremento de la turgencia, que está regulado por

el ion K^+ . Por lo tanto, ante la carencia de K se puede producir un cierre estomático (Ruiz and Sadzawka, 2005).

Muchos autores han demostrado los beneficios de una nutrición adecuada de potasio en el color y contenido polifenólico de las bayas (Suleman et al. 1993), en la función fotosintética, translocación de azúcares y en la síntesis de componentes fenólicos durante la maduración (Pirie y Mullins, 1977). En plantas donde la sacarosa se utiliza como azúcar de transporte, el K posee un rol importante (Ruiz and Sadzawka, 2005). Para poder transportar la sacarosa vía floema hacia los frutos, existe un modelo que propone que la sacarosa se introduce en el floema (tubos cribosos) en conjunto con el K^+ , que equilibra las cargas positivas, y desde aquí son distribuidos a los frutos (Hall y Baker 1971; Giaquinta 1979).

El suministro de K a las células también puede influir en la síntesis de proteínas, aunque de forma indirecta, debido a que la actividad de ATPasas, activadas por K y esenciales para la síntesis proteica, se reduce a menor concentración del macronutriente. La menor síntesis proteica se acompaña de la aparición de compuestos como la putrecina, la que se acumula en los tejidos y produce necrosis y muerte celular. En vides, la putrecina está relacionada con un desorden fisiológico denominado “fiebre de primavera”, la cual afecta el crecimiento y finalmente la calidad del fruto (Ruiz and Sadzawka, 2005).

Pocos autores han abordado el efecto del potasio sobre el cuajado de los frutos. Ruiz and Sadzawka (2005) hacen un revisión sobre este tema en parrones, mostrando un impacto de la fertilización potásica sobre la producción. En plantas con un aporte de 300

Kg K₂O/Ha, se incrementó el número de racimos por planta y el índice de fertilidad de yemas (Valenzuela y Ruiz, 1984). La deficiencia de K puede producir enrojecimiento en las hojas y amarillamiento en el margen de las hojas jóvenes, hojas con márgenes secos, y enrollamiento y quemaduras en las hojas adultas (Bavaresco et al. 2010), disminuyendo la producción del cultivo. Más aun, en las bayas una deficiencia de K puede mermar el crecimiento del fruto afectando la expansión celular (Gil and Pszczolkowski, 2007).

El uso de fertilizantes por lo general es beneficioso para la viña, pero las aplicaciones excesivas o mal balanceadas pueden tener efectos negativos en la calidad del fruto (Delgado et al. 2004). En el viñedo con exceso de potasio se puede inducir una carencia de magnesio, el que está relacionado con la activación de enzimas de fotofosforilación, en la síntesis de proteínas y participa en la molécula de clorofila (Gil and Pszczolkowski, 2007). Asimismo, el incremento de K en las bayas puede impactar de forma negativa la calidad del vino, ya que disminuye el ácido tartárico libre, lo que resulta en un aumento del pH de las bayas, mosto y vino. Este incremento de pH aumenta los costos de producción del vino, ya que debe ajustarse su acidez (Mpelasoka et al. 2003).

Otros estudios plantean que una aplicación excesiva de K no genera toxicidad, pero si desbalance nutricional. En suelos franco arenosos con exceso de K (250 Kg/ha de K₂O por año) se pueden generar deficiencias de Ca y Mg, lo que produciría partiduras en variedades sensibles como "Flame" (uva de mesa) debido a la disminución de la absorción de Ca provocada por el exceso de K durante tres o cuatro años consecutivos (Serra 2003).

En el suelo, un incremento de la fertilización potásica también podría tener consecuencias negativas. Por ejemplo el uso de cloruro de potasio como fertilizante en altas concentraciones pueda producir una acumulación de cloruro en suelos con poca lixiviación (Ruiz, 2000). Este incremento de cloruros en el suelo, en conjunto con los sulfatos de sodio, calcio y magnesio, contribuyen a incrementar la concentración de sales (salinidad). Las vides son plantas glicofitas, que toleran bajas concentraciones salinas. Entonces, un incremento de la salinidad disminuye el potencial osmótico y por consecuencia se genera una disminución del potencial hídrico. Esta baja de potenciales, provoca que la planta tenga dificultades en la absorción de agua (Gil and Pszczolkowski, 2007).

Para poder determinar las carencias o excesos en la fertilización de las viñas que conlleve a obtener un mosto de calidad, se requiere saber el estado nutricional de la planta. La relación entre el contenido del órgano analizado y el rendimiento y calidad de la planta, son necesarios para poder establecer un óptimo de fertilización (Romero et al, 2005; Champagnol, 1990). Los síntomas visuales de deficiencias o excesos suelen ser un primer diagnóstico frente a problemas de fertilización (Figura 6). Una deficiencia de potasio produce un color bronceado en las hojas y necrosis del borde de la planta, además de tener consecuencias en el calibre de la fruta (Serra, 2003). Sin embargo, los síntomas visuales solo se observan cuando las deficiencias son avanzadas, por lo que el análisis de tejidos para la determinación del estado nutritivo de las plantas es un análisis apropiado y que se ha extendido en la viticultura.



Figura 6. Sintomatología visual de los efectos de la deficiencia de potasio en hojas de vid.
Fuente: Sierra 2003

Los análisis nutricionales se realizan en peciolo, hojas, frutos, tallos o tejidos de reserva (como las raíces). Es importante en estos casos saber la relación que pueda existir entre el potasio existente en el peciolo y las bayas. Algunos estudios no han encontrado relación entre ellas (McCarthy, 1981); sin embargo, otros han demostrado que un aumento de potasio dado en la fertilización puede aumentar directamente el K en las bayas (Downton 1977, Morris et al. 1980).

Encontrar el balance adecuado de nutrientes y la investigación sobre los efectos sobre la fisiología y calidad de las plantas de vid es un tema complejo y poco desarrollado en la literatura científica. El desarrollo preliminar de estudios nutricionales puede realizarse en ambientes controlados de invernadero, con el fin de evitar la intervención de otros factores de estrés como la temperatura, la precipitación, tipo de suelo, etc. los cuales pueden interferir en los resultados.

5. Condiciones controladas de invernadero

Para lograr una primera aproximación sobre el efecto de diferentes concentraciones de potasio sobre la calidad y nutrición de la vid, es necesario poder contar con un sistema de invernadero, para poder tener control sobre las múltiples variables que pueden influir sobre la nutrición. Un estudio en campo, no nos asegura contar con el mismo tipo de suelo (en toda la extensión del predio); posee variables climáticas no controlables, ataques de plagas, diferencias en el aporte de agua (por las precipitaciones), etc. Sin embargo, para poder analizar el efecto particular del potasio, un estudio en condiciones controladas nos permite manejar solo una variable (diferentes concentraciones aplicadas) y nos permite mantener una temperatura, riego, radiación, humedad relativa y fotoperiodo constante y parejo entre todas las plantas.

Los invernaderos y cámaras de crecimiento nos permiten proveer a las plantas de un crecimiento apropiado, reproduciendo artificialmente el ambiente óptimo para el crecimiento. Asimismo, permiten realizar trabajos donde se requiere mantener estables y con precisión todas las condiciones de crecimiento, como por ejemplo, fotoperiodo y/o temperatura (Aranjuelo 2004).

6. Esquejes fructíferos de vid

Para poder desarrollar estudios como este, donde no solo se requiere analizar el comportamiento de la parte vegetativa de la planta sino también del fruto, se han desarrollado técnicas que permiten el crecimiento de una planta fructífera en invernadero

en un periodo de tiempo reducido. En la gran mayoría de los casos, las estacas de vid que se mantienen en invernadero no logran mantener sus inflorescencias, pues se marchitan y mueren poco después de la brotación. Mulling (1966) publicó un método para la producción de esquejes fructíferos, donde propone el uso de “camas calientes” que mantengan las raíces de las plantas a una temperatura que sea óptima para su crecimiento. A su vez, se deben mantener los nudos fructíferos a 5°C, durante el tiempo de enraizamiento, para que las yemas permanezcan latentes hasta que el esqueje tenga las raíces suficientes para soportar el crecimiento adecuado de las inflorescencias. Para lograr la obtención de esquejes fructíferos en invernadero se requieren la obtención de material de poda fresco y de calidad. Los sarmientos o esquejes, deben tener un diámetro aproximado entre 15-20 mm y un largo de entre 40-50 cm (Antolin et al, 2010), lo que provee la cantidad de reservas nutricionales adecuadas para que el sarmiento pueda producir raíces viables para el posterior sustento de la inflorescencia.

Esta técnica permite en poco menos de 6 meses tener plantas de vid fructíferas con racimos maduros. Esto permite realizar estudios de análisis vegetativo y fructífero en un tiempo reducido y pudiendo obtener fruta dos veces por año.

HIPÓTESIS

El correcto balance de potasio dentro de la solución nutritiva aportada a *Vitis vinifera* cv. Tempranillo puede mejorar la calidad de las uvas e influir sobre la nutrición general de la planta.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de la aplicación de diferentes dosis de potasio en *Vitis vinifera* cv. Tempranillo en el estatus nutricional de la planta y en la calidad de la uva.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Obtener esquejes fructíferos del cv. Tempranillo
2. Ajustar la solución nutritiva Hoagland con diferentes dosis de potasio con el fin de mantener el equilibrio de nutrientes
3. Evaluar la calidad de las bayas del cv. Tempranillo sometido a diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva
4. Evaluar el estado nutricional de hojas, peciolo y bayas del cv. Tempranillo sometido a diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva

MATERIALES Y METODOS

1. Desarrollo de esquejes fructíferos del cv. Tempranillo

Esquejes de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, fueron obtenidos desde la Estación de Viticultura y Enología de Navarra, en la localidad de Olite en Navarra, España. Los esquejes fueron seleccionados para desarrollar esquejes fructíferos de acuerdo a la técnica propuesta por Mullins (1966) y modificada por Ollat, et al (2009) y Santamaria (2004). Para el enraizamiento se utilizó una caja de enraizamiento especialmente acondicionada con el fin de mantener las raíces a 27°C y los nudos fructíferos a 5°C (para evitar la brotación previa al enraizamiento). Luego de aproximadamente 4 semanas los esquejes fueron trasplantados a macetas de 0.8 L, con sustrato arena: perlita: vermiculita (1:1:1) y transferidos a un invernadero en condiciones ambiente: 26/15 °C (día / noche), 60-70% de humedad relativa (HR) y fotoperíodo de 15 h con luz natural, complementado con lámparas de sodio de alta presión (SON-T Agro Phillips, Eindhoven, Netherlands). Luego de la aparición de la inflorescencia (estadio F de Baillod y Baggiolini; Figura 3), se seleccionaron los esquejes viables y se re-trasplantaron a macetas de 4 litros (l) con sustrato turba: perlita (2:1). Hasta el momento de la aparición de la inflorescencia, las plantas fueron regadas con agua de osmosis inversa y posteriormente se comenzó el riego con solución nutritiva HalfHoagland (Hoagland y Arnón 1950) mediante riego por goteo, proveyendo de dos goteros a cada maceta con un flujo de 8,5 ml/min.

2. Diseño Experimental

Desde la aparición de la inflorescencia las plantas fueron seleccionadas, para asegurar homogeneidad entre ellas y divididas en 5 tratamientos (4 plantas por tratamiento, con un total de 20 plantas). Los tratamientos consistieron en 5 dosis diferentes de potasio en la solución nutritiva Half Hoagland (Hoagland y Arnón 1950).

Las soluciones nutritivas fueron ajustadas con el fin de mantener el equilibrio de nutrientes y se mantuvieron en un pH 6.0 ajustado mediante ácido fosfórico. Los micronutrientes añadidos a la solución no fueron modificados. La tabla 3 detalla las soluciones que fueron utilizadas.

Tabla 3. Concentraciones de Macronutrientes utilizadas en las soluciones nutritivas modificadas desde la solución Hoagland.

	Half Hoagland (mM)	Half Hoagland Modificada (mM)			
	3,5 mM K	2,6 mM K	1,75 mM K	0,88 mM K	0 mM K
KNO ₃	2,5	2,5	1,75	0,88	0
MgSO ₄ 7H ₂ O	1,0	1,0	1,11	1,23	1,36
KH ₂ PO ₄	1,0	0,10	0	0	0
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	2,5	2,77	2,77	3,08	3,39
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0	1,0	1,0	1,0	1,0

Las plantas fueron mantenidas bajo tratamiento desde la aparición de la inflorescencia hasta la maduración (estadio F a N, respectivamente, de Bailloy y Baggioini) o hasta completar 150 días de crecimiento en las plantas que no llegaron a

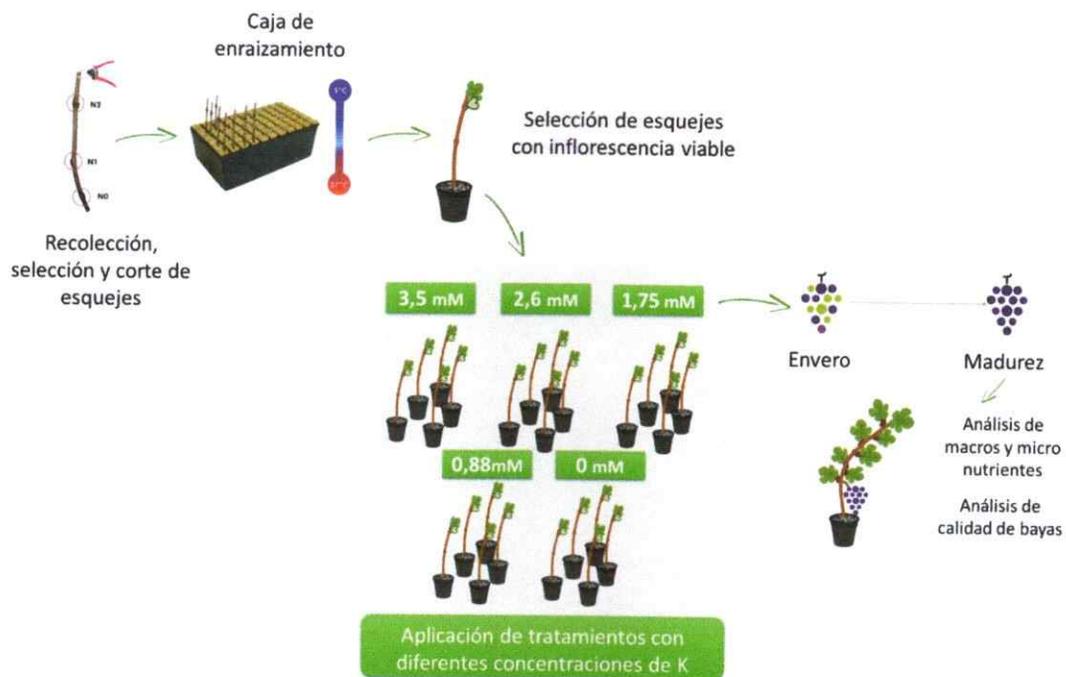


Figura 7. Diseño experimental. Los sarmientos recolectados en la época de poda fueron seleccionados y cortados según la técnica propuesta por Mullins (1966). Luego del enraizamiento, los esquejes con yemas fructíferas viables fueron seleccionados y divididos en 5 tratamientos, con diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva. Las plantas fueron mantenidas en los tratamientos hasta la maduración.

madurez durante ese periodo. Para el cv. Tempranillo se determinó la madurez cuando las bayas completamente coloreadas alcanzaron los 20-21° Brix, aproximadamente.

3. Índice de Cuajado

En plena floración los racimos fueron cubiertos con un capuchón, que permitía la entrada de luz, con el fin de contabilizar la pérdida de flores antes del cuajado de los frutos. Las flores abortadas fueron contadas y se determinó el índice de cuajado al final de la cosecha, según la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de cuajado (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de bayas cuajadas}}{\text{N}^\circ \text{ total de flores}} \times 100$$

$$\text{N}^\circ \text{ total de flores} = \text{N}^\circ \text{ de flores abortadas} + \text{N}^\circ \text{ de bayas cuajadas}$$

4. Cosecha

En el momento de la cosecha se determinó el peso fresco del racimo (g), el número de bayas y el peso fresco de 100 bayas. Los racimos completos sin escobajo (parte leñosa) fueron congelados en N₂ y mantenidos a -80°C para análisis posteriores.



5. Calidad de las bayas

Para determinar el momento óptimo de la cosecha de las uvas destinadas a la producción del vino, los productores se basan en varios criterios entre ellos destacan la madurez tecnológica y la madurez fenólica o fenológica. Para determinar estos parámetros en el momento en que se cosecharon los racimos de este ensayo, las bayas previamente congeladas en el momento de la cosecha fueron separadas en alícuotas representativas y utilizadas para determinar la madurez tecnológica y madurez fenológica del mosto (jugo de uvas).

5.1. Madurez Tecnológica es basada en la medida de los azúcares y ácidos de la pulpa de las bayas, se determinó desde una muestra representativa de 25 bayas las cuales fueron "aplastadas" para obtener mosto sin pieles y semillas. Los extractos obtenidos fueron centrifugados a 3000 g durante 10 minutos y se apartó el sobrenadante para determinar:

5.1.1. Sólidos solubles totales (°Brix) se determinaron mediante un refractómetro digital (Zuzi modelo nº 315, Refractómetro Abbe digital). La acidez total se determinó mediante titulación con NaOH 0,1 N, utilizando 10 ml de extracto y convirtiendo los resultados a g/L de ácido tartárico. El pH se midió mediante métodos instrumentales (pH-metro).

5.1.2. Ácido L-málico se determinó mediante un kit enzimático (Enzytec ácido L-málico, BoehringerMannheim / R-Biopharm);

5.1.3. Ácido tartárico se determinó mediante el método modificado de Rebelein (Rebelein 1973; Vidal y Blouin 1978).

5.1.4. Color del mosto se determinó mediante mediciones espectrofotométricas a 420, 520 y 620 nm. La tonalidad se determinó por la relación entre A420 y A520 y la intensidad del color se determinó por la suma de A420, A520 y A620.

5.2. Madurez Fenológica, se ha relacionado con la madurez de la piel de las bayas, específicamente con la acumulación de antocianinas. Se habla de madurez fenólica cuando se ha alcanzado el máximo de acumulación de antocianinas en la piel (Avagnina y Catania, 2011). Para determinar este parámetro se seleccionó una muestra representativa de 40 bayas por racimo, las cuales fueron trituradas en licuadora, con piel y pepitas. Los extractos obtenidos fueron centrifugados a 3000 g durante 10 minutos y se apartó el sobrenadante para determinar:

5.2.1. Taninos totales, según el método del Centro de Investigación Australiano del Vino (AWRI, según sus siglas en inglés. Standard Methods; www.crcv.com.au);

5.2.2. Antocianinas; según el método de Glorie (Glorie y Augustin 1993). Las bayas trituradas fueron maceradas durante 4 horas en dos soluciones a diferentes pH (3,2 y 1,0). Luego de la maceración, las muestras fueron centrifugadas a 3000 g y los sobrenadantes utilizados para las determinaciones. La primera solución de maceración se ajustó a un pH 3,2, (ácido tartárico), comparable al que prevalece durante la maceración del vino, y se utilizó para la determinación de antocianinas potencialmente extraíbles. La segunda solución de maceración se ajustó a un pH 1,0 (HCl), y se utilizó para determinar las antocianinas totales. El contenido de antocianinas se

determinó en ambos sobrenadantes, según Ribéreau-Gayon y Stonestreet (1965) usando la absorbancia a 520nm.

5.2.3. Riqueza fenólica, se midió en el sobrenadante obtenido después de la maceración a pH 3,2, usando la absorbancia a 280 nm.

5.2.4. La extractabilidad de los antocianos (EA%) y la madurez fenólica de las pepitas (Mp%), se determinaron según las siguientes ecuaciones:

$$EA\% = \frac{(A_{520 \text{ pH } 1,0} - A_{520 \text{ pH } 3,2})}{A_{520 \text{ pH } 1,0}} * 100$$

$$Mp\% = \frac{(A_{280} - (A_{520 \text{ pH } 3,2} * 40))}{A_{280}} * 100$$

Todas las lecturas de absorbancia se realizarán en un espectrofotómetro Hitachi (modelo U-2001, Hitachi Instruments Inc., EE.UU.).

Es importante destacar la diferencia entre la madurez tecnológica, fenólica y fisiológica. La madurez fisiológica de la vid, engloba la acumulación de azúcares, antocianinas y polifenoles, incluyendo además el momento donde la semilla de la uva se encuentra en condiciones óptimas para su germinación (Avagnina y Catania, 2011).

6. Análisis mineral

Hojas, pecíolos y bayas de cada tratamiento se secaron en un horno a 65 ° C, según lo descrito por Abadia et al (1985) y Abadia et al (1989). Los análisis de minerales se realizaron según las directrices de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC

1990). El nitrógeno (N) y fósforo (P) se analizó por el método de Kjeldahl y espectrofotométricamente, respectivamente. El potasio (K) se midió por espectroscopia de emisión de llama. El calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) se midieron por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se expresaron como porcentaje del peso seco (DW) para la macro-nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y como mg kg^{-1} de DW de micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn).

7. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó como lo determina el diagrama de flujo (Figura 8). Se utilizó el test de normalidad de Shapiro-Wilk debido a que el tamaño de muestras era menor a 50 individuos. En datos paramétricos, para determinar el efecto sobre los tratamientos, se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía (un factor). Los datos no paramétricos se analizaron mediante una prueba para k muestras independientes, H de Kruskal-Wallis.

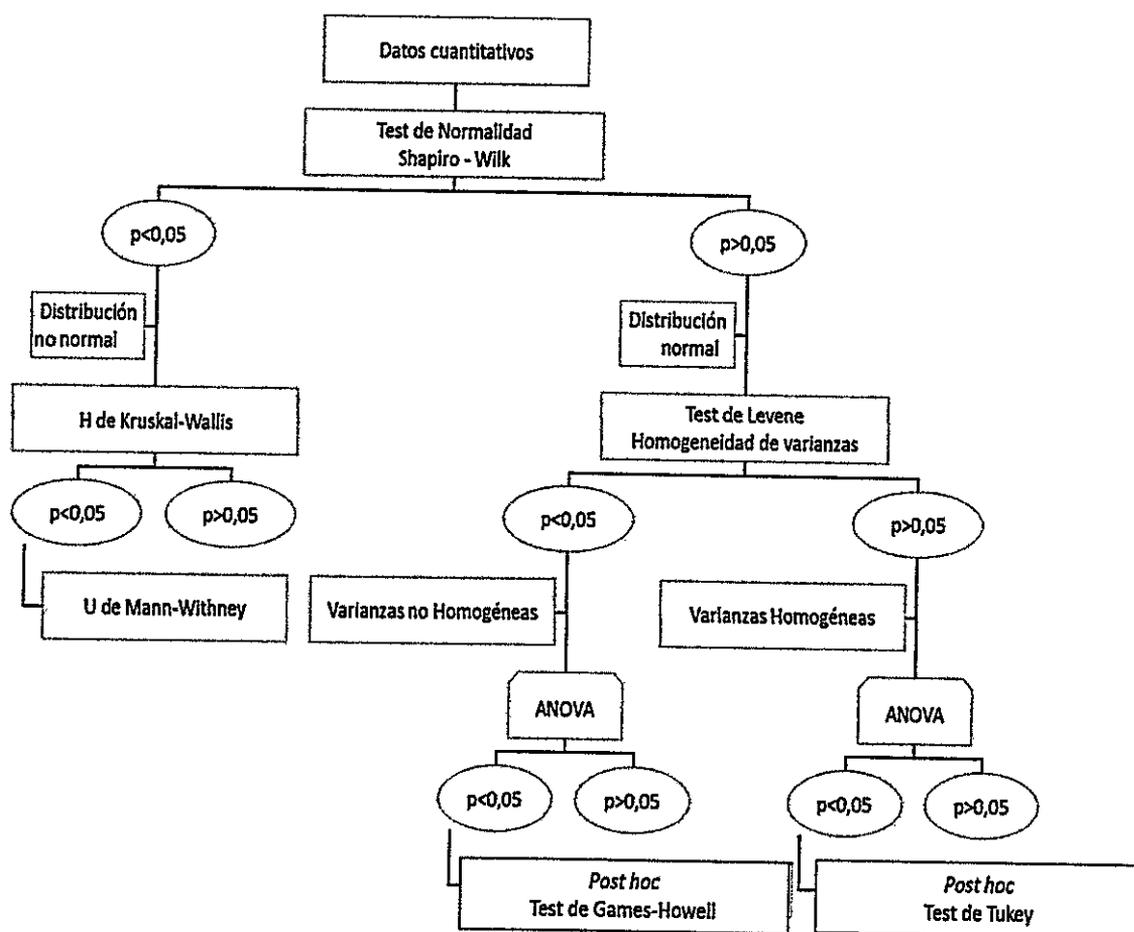


Figura 8. Diagrama de flujo del análisis estadístico realizado en base a datos cuantitativos.

Cuando los efectos de los tratamientos fueron estadísticamente significativos, se analizaron las diferencias entre grupos con la mediante pruebas post-hoc. Para análisis paramétricos se utilizó el Test de Tukey o Test de Games-Howell, dependiendo de la homogeneidad de varianzas (Test de Levene) y para el análisis no paramétrico se realizó una U de Mann-Whitney. Los resultados son considerados estadísticamente significativos cuando $p \leq 0,05$. Los datos son presentados como medias \pm error estándar. Todos estos análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows

(SPSS inc., Chicago, USA). Las gráficas fueron realizadas con el paquete gráfico GraphPadPrism (San Diego, USA).

RESULTADOS

1. Obtención de esquejes fructíferos de vid

Se obtuvieron esquejes fructíferos del cv. Tempranillo, siguiendo la técnica descrita en los materiales y métodos. Los esquejes recolectados, luego de la selección previa por calibre y calidad, fueron mantenidos en invernadero y desarrollados según el método de Mullins (1966). Los pasos más importantes y la manipulación de la inflorescencia se detallan en la figura 9.

Técnica de Esquejes fructíferos de vid

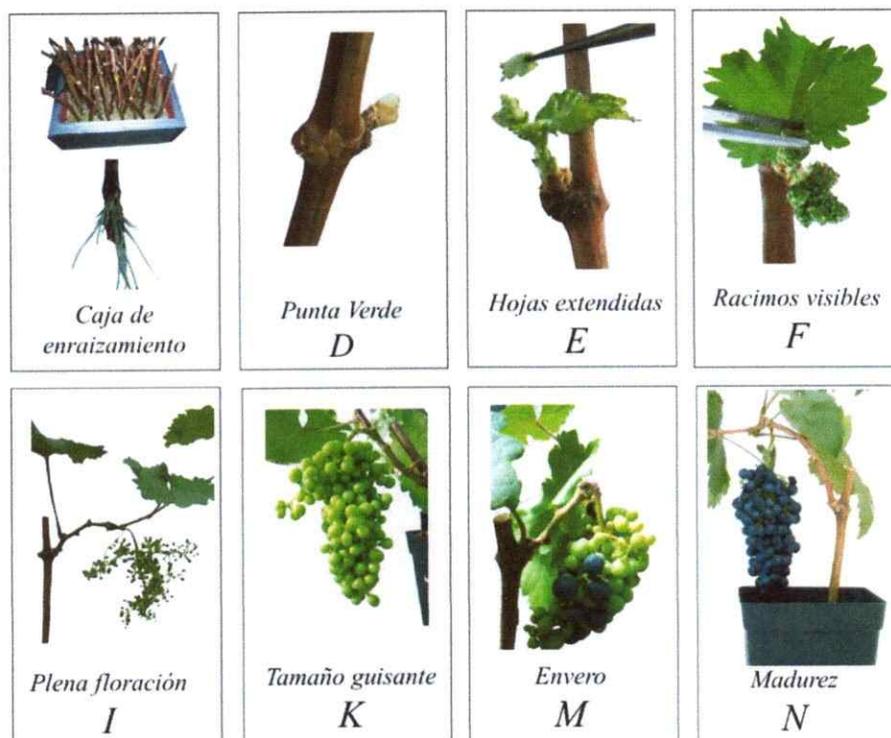


Figura 9. Fenología del cv. Tempranillo que ha sido sometido a la técnica de esquejes fructíferos de vid (Fotografías propias).

2. Madurez Tecnológica

Las bayas fueron recolectadas luego de permanecer aproximadamente durante 150 días en tratamiento, donde todos los tratamientos alcanzaron la madurez, a excepción del tratamiento de 0 mM de K.

2.1. Peso y número de bayas por racimo, peso de 100 bayas e índice de cuajado.

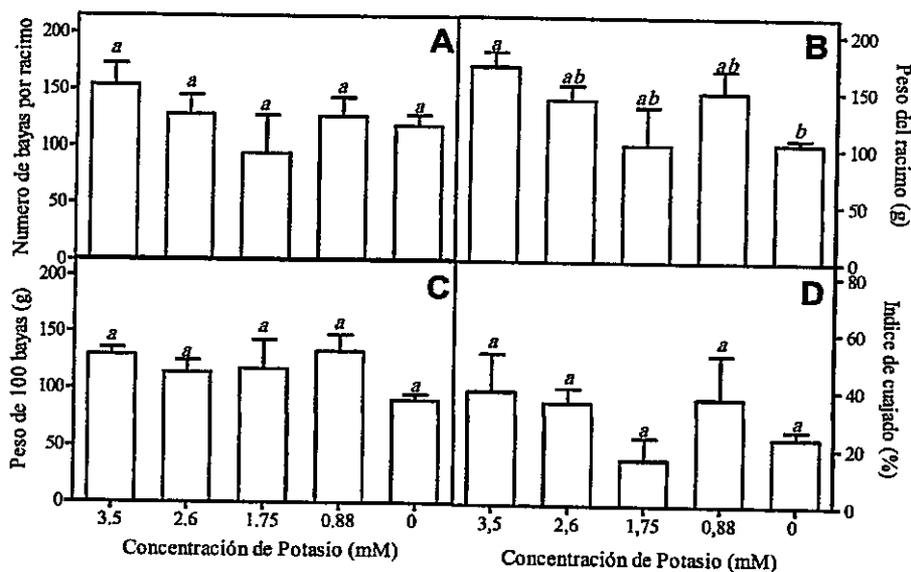


Figura 10. Número de bayas por racimo (A), peso de racimo (B), peso de 100 bayas (C) e índice de cuajado (D) en plantas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio en solución nutritiva desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. Los datos se expresan como media \pm error estándar. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis *post hoc* utilizado.

El número de bayas por racimo y el peso de 100 bayas (Figura 10 A y C) no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, en el peso del racimo se denota que el tratamiento de 1,75 mM posee un peso menor en un 40,1%, pero sin existir diferencias

significativas. Este tratamiento alcanzó pesos de racimo similares a los obtenidos cuando no existió K en la solución nutritiva (Figura 10 B).

En el índice de cuajado (Figura 10, D), a pesar de no existir diferencias significativas, si se observa una clara tendencia a la baja en el tratamiento de 1,75 mM (59,2%) y 0 mM (40,4%), respecto al tratamiento 3,5 mM.

2.2. Sólidos solubles totales, ácido málico, pH y acidez total

Las bayas cosechadas a los 150 días presentaron medias entre 20-21 °Brix (sólidos solubles totales), a excepción del tratamiento de 0 mM, que presenta una reducción significativa, observándose una media de 11,97 °Brix, a pesar de mantenerse el mismo periodo que el resto de los tratamientos (Figura 11 A). Del mismo modo, el pH en el tratamiento de 0 mM también se vio reducido significativamente mostrando un valor inferior al resto de los tratamientos (Figura 11 C).

La acidez total (Figura 11 D), expresada en g/L de ácido tartárico, determinó que la no inclusión de potasio en la solución nutritiva no provoca el descenso de la acidez. El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos, pero si se observa que los tratamientos de 1,75 y 0,88 mM poseen una media un 25,6 y 25,1 % menor que el tratamiento 3,5 mM, respectivamente.

El ácido málico (Figura 11 B), muestra un descenso significativo de su concentración (53% menor) en el tratamiento de 1,75 mM respecto al tratamiento que presenta el doble

de la concentración de K (3,5 mM). El resto de los tratamientos no presentaron diferencias significativas.

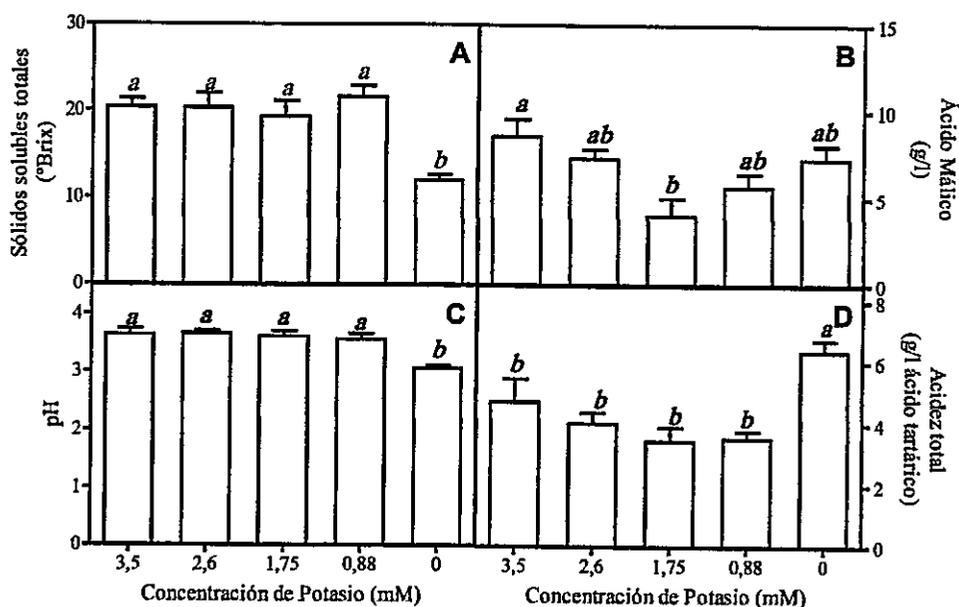


Figura 11. Sólidos solubles totales (A), ácido málico (B), pH (C) y acidez total (D) en bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. Los datos se expresan como media \pm error estándar. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis *post hoc* utilizado.

2.3. Intensidad colorante e índice de tonalidad

En la intensidad colorante (Figura 12 A), se observa que el tratamiento de 1,75mM presenta una media superior a los otros tratamientos (38,4% mayor, respecto al tratamiento 3,5mM), sin embargo esta diferencia no es significativa. En cuanto al índice de tonalidad

(Figura 12 B), el tratamiento de fertirriego sin inclusión de potasio muestra un incremento significativo.

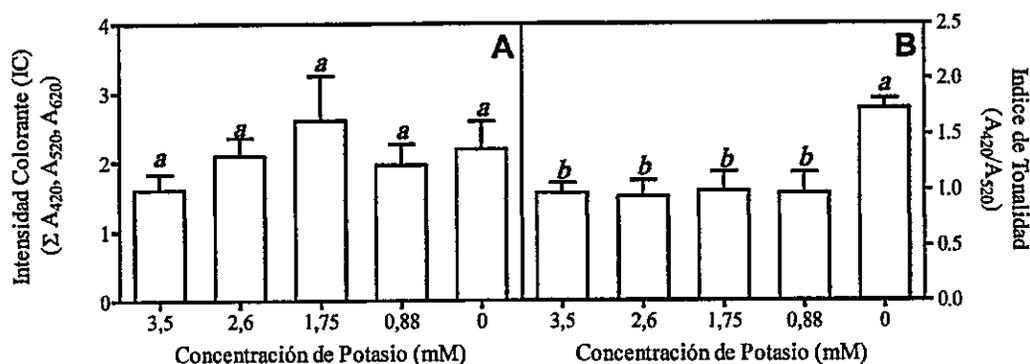


Figura 12. Intensidad Colorante (A), e índice de tonalidad (B) en bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. Los datos se expresan como media \pm error estándar. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis *post hoc* utilizado.

3. Madurez Fenólica

Las antocianinas totales y potenciales (Figura 13 A y B), demostraron tener una concentración significativamente menor en las plantas sometidas a un déficit total de potasio (0 mM). Lo mismo sucede con la madurez polifenólica de las pepitas (Mp%, Figura 13 D) que muestra un incremento en este tratamiento. Sin embargo no se observaron efectos significativos en la extractabilidad de los antocianos (EA%, Figura 13 C), aunque se puede observar en la gráfica una tendencia a disminuir a medida que se incrementa la concentración de K aportada.

El índice de polifenoles (Figura 13 E), aunque no muestra diferencias significativas, muestra un comportamiento similar al presentado por el de Mp%. Los taninos (Figura 13, F), a pesar de no arrojar diferencias significativas, si muestra una mayor concentración en los tratamientos de 2,6 y 1,75 mM de K.

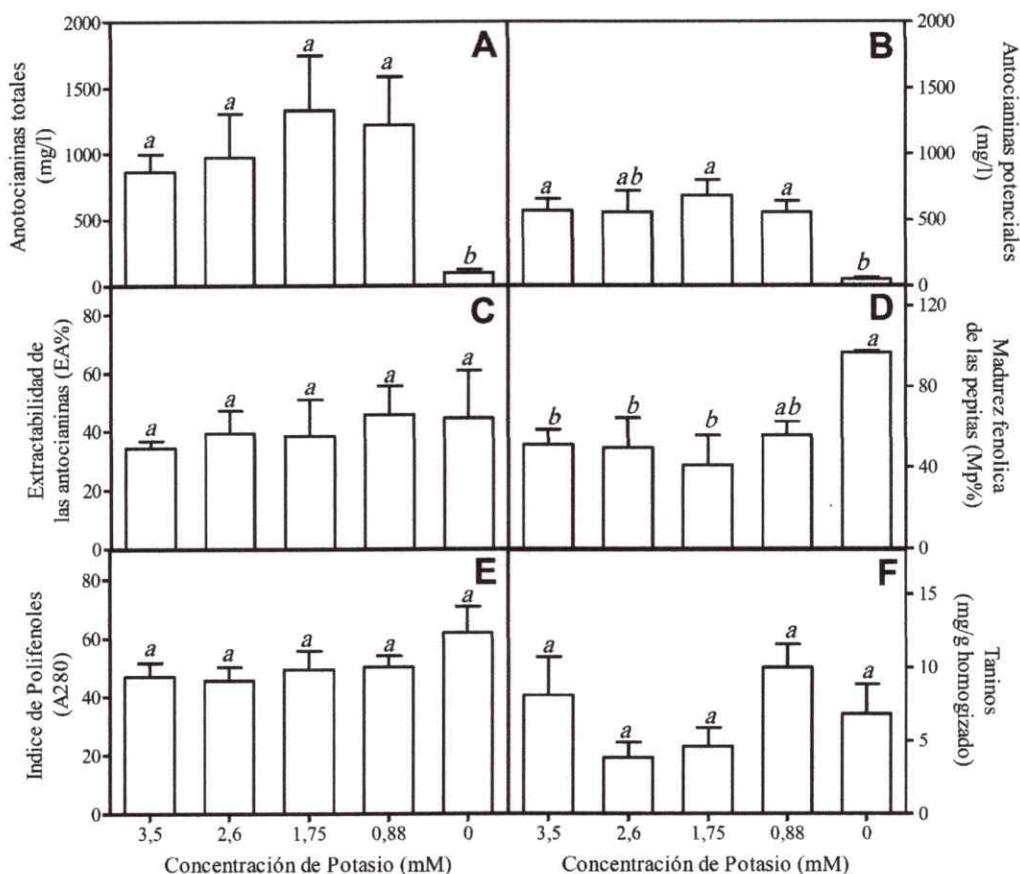


Figura 13. Antocianinas totales (A), antocianinas potenciales (B), extractabilidad de las antocianinas (C), madurez fenólica de las pepitas (D), índice de polifenoles (E) y taninos (F) en bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. Los datos se expresan como media \pm error estándar. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis *post hoc* utilizado.



4. Macronutrientes

4.1. Potasio

En las hojas y peciolo, el porcentaje de potasio (Figura 14 A y B) se incrementó a medida que aumento el aporte de K a través del fertirriego. Mostrando significativas diferencias entre todos los tratamientos respecto al tratamiento de 0mM de K (a excepción del tratamiento 3,5 mM en peciolo que presentó una media levemente inferior que el tratamiento 2,6 mM)

En bayas (Figura 14 C), al contrario que en hojas y peciolo, no se presentaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, manteniendo medias similares, independiente de la concentración de potasio en el fertirriego.

4.2. Fósforo

En hojas, el fósforo (Figura 14 D) no presentó diferencias significativas. Sin embargo, el tratamiento de 1,75mM presentó el porcentaje de P más bajo respecto al resto de los tratamientos (3,5% menor respecto a 3,5mM).

En peciolo y bayas (Figura 14 E y F), el fósforo presentó un comportamiento similar incrementándose a medida que disminuyó el aporte de K en la solución nutritiva. En peciolo, los tratamiento de 0, 0,88 y 1.75 mM presentaron diferencias significativas con el tratamiento de 3,5 mM.

4.3. Calcio

El calcio en hojas (Figura 14 G) se vio incrementado en los tratamientos a los que se le incorporó mayor concentración de K en solución, 3,5 y 2,6 mM, respecto a las concentraciones más bajas de K. Al contrario de lo que sucede en bayas (Figura 14 I), donde la mayor concentración de K disminuyó significativamente el porcentaje de Ca. En peciolo (Figura 14 H) estas tendencias no se registraron.

4.4. Magnesio

Tanto en hojas, peciolo y bayas (Figura 14 J, K y L), el magnesio muestra una tendencia a incrementarse a medida que la concentración de potasio disminuye, siendo estas diferencias significativas entre los tratamientos de 2,6 y 0 mM en todos los órganos.

4.5. Nitrógeno

En hojas (Figura 14 M), no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de N. En peciolo (Figura 14 N), se observó un porcentaje significativamente menor en los tratamientos que recibieron una menor concentración de K (1,75 y 0,88 mM) respecto al 0 mM. Al contrario en bayas (Figura 14 O), la menor concentración de N fue observada en los tratamientos que recibieron mayor aporte de K (3,5 y 2,6 mM), siendo estas diferencias significativas.

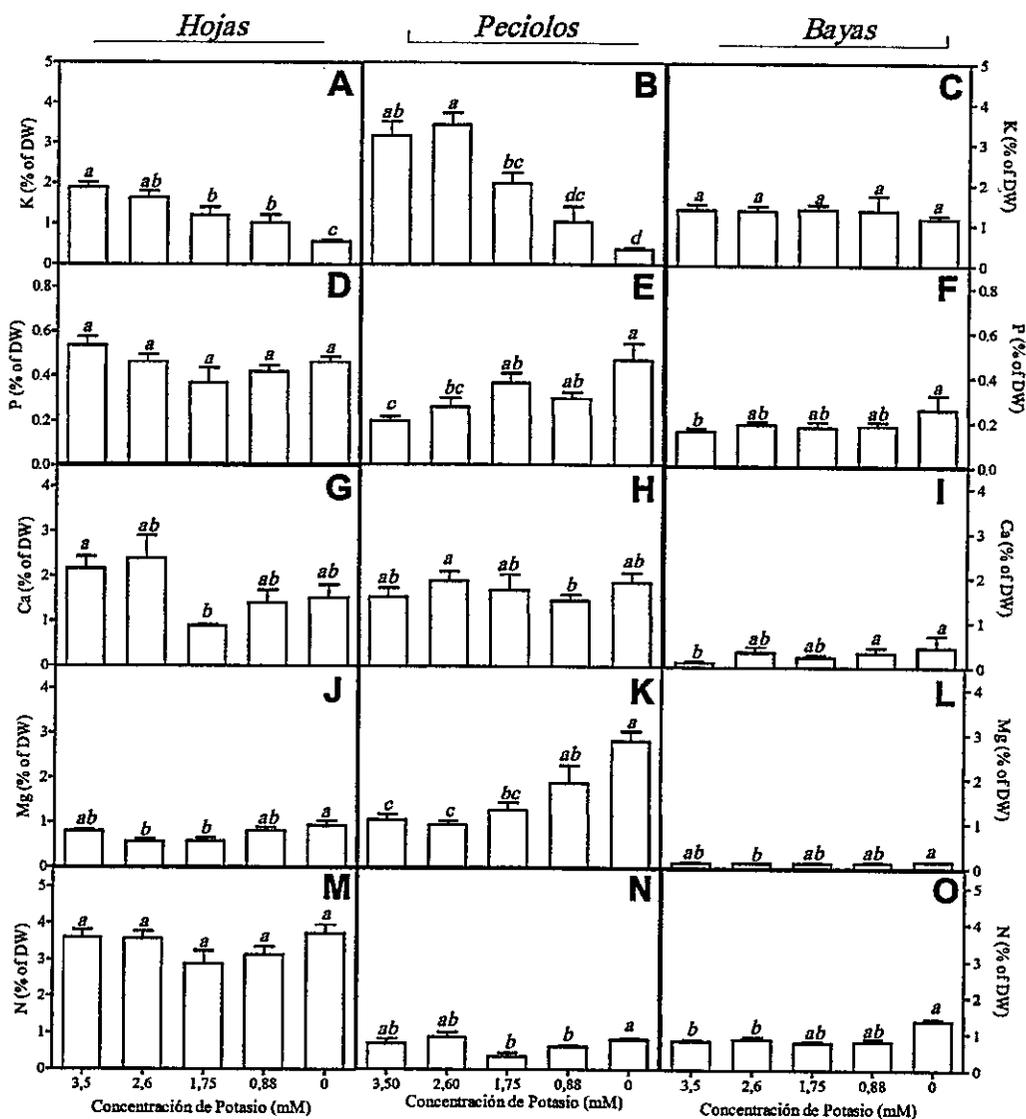


Figura 14. Macronutrientes en hojas, peciolos y bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. K: potasio; P: fosforo; Ca: Calcio; Mg: magnesio; N: nitrógeno. Los datos se expresan como media \pm error estándar. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis *post hoc* utilizado.

5. Micronutrientes

5.1. Hierro

Se observa que el tratamiento de 1,75mM, en hojas (Figura 15 A), posee una concentración de hierro menor que el resto de los tratamientos, siendo un 36,5% más baja que el tratamiento 3,5mM, llegando a asemejarse a la concentración de F obtenida por el tratamiento de 0mM.

En peciolo (Figura 15 B), los tratamientos de 3,5 y 1,75 presentaron medias un 49,1 y 49,8% más bajas que el tratamiento 0 mM, siendo ambas diferencias significativas.

En bayas (Figura 15 C), se denota un incremento de la concentración de F, a medida que disminuye la concentración de K. Las diferencias son significativas entre los tratamientos de menor concentración (0 y 0,88 mM) y los de mayor concentración (3,5; 2,6 y 1,75 mM).

5.2. Manganeso

La concentración de Mn, en hojas (Figura 15 D), es menor en el tratamiento 1,75 mM respecto al 3,5 y 0 mM (51,7 y 44,5 % menor respectivamente), sin embargo esta diferencia no es significativa. En peciolo (Figura 15 E), también se observa un descenso en la concentración en el tratamiento 1,75 respecto al 0 mM, pero en este órgano la concentración de Mn en el tratamiento 1,75 mM se iguala a la obtenida en el tratamiento 3,5 mM. En bayas (Figura 15 F), se mantiene la tendencia presentada en peciolo,

observándose que las plantas sometidas a un fertirriego sin potasio tienden a concentrar un cantidad significativamente mayor de Mn, que aquellas que recibieron un aporte de K aunque fuese menor a 3,5mM.

5.3. Cobre

En hojas y peciolo (Figura 15 G y H) la concentración de cobre fue significativamente mayor en las plantas fertirrigadas con 3,5 mM de K. Este incremento fue de un 56,53 y 74,9%, respectivamente mayor que el tratamiento sin aporte de K. En cuanto al Cu en bayas (Figura 15 I), no se observaron diferencias significativas, sin embargo, si se denota que el tratamiento de 0 mM es el que presenta una media mayor, siendo 57% más alta que el tratamiento 3,5mM.

5.4. Zinc

En concentración de Zn en hojas (Figura 15 J), se observó que el tratamiento de 1,75 mM posee un decremento significativo respecto al tratamiento de 3,5mM en un 33,5%.

En peciolo (Figura 15 K), se observa que el tratamiento con mayor concentración de potasio, concentra significativamente mayor cantidad de Zn respecto al resto de los tratamientos. Por el contrario, en bayas (Figura 15 L), a mayor concentración de potasio el Zn es significativamente menor.

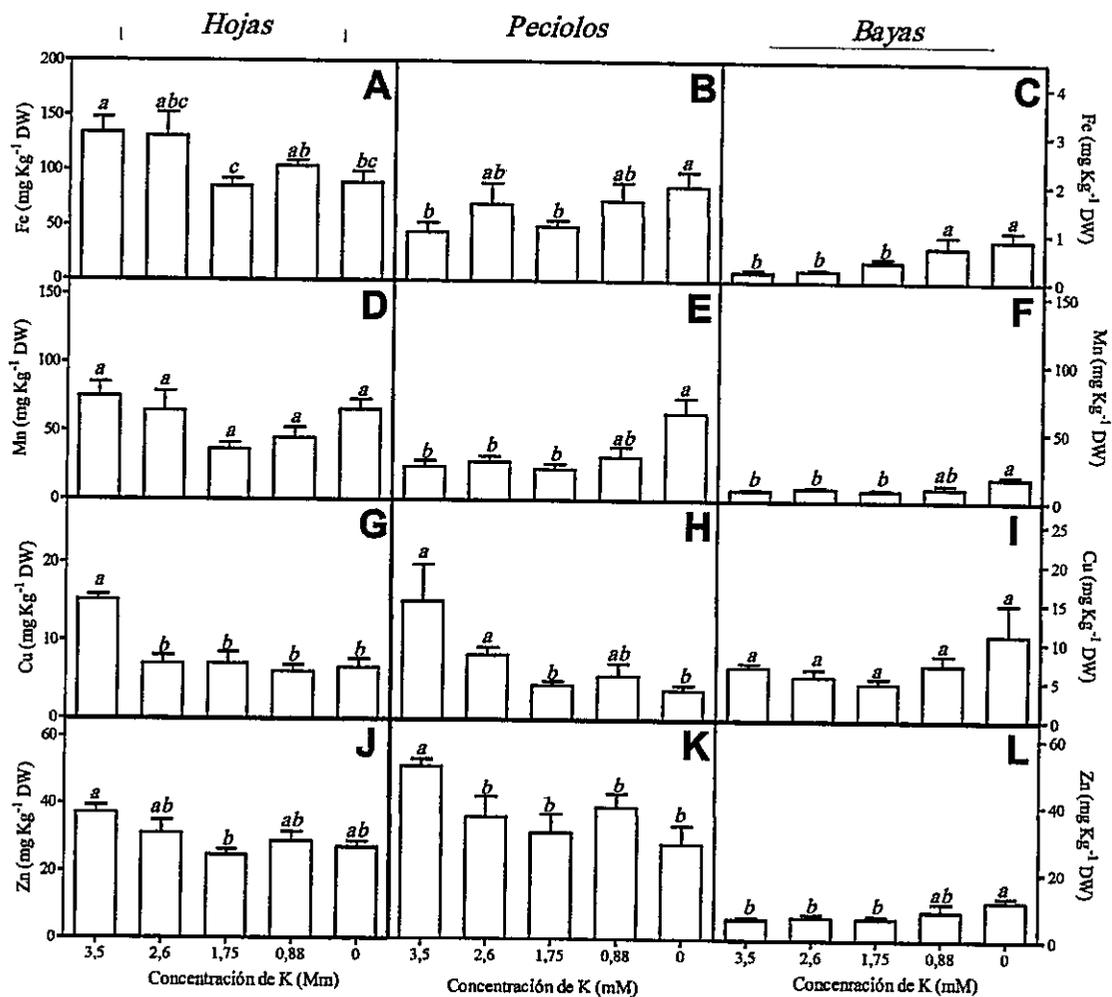


Figura 15. Micronutrientes en hojas, peciolos y bayas de *Vitis vinifera* cv. Tempranillo, sometidas a fertirriego con diferentes concentraciones de potasio desde la aparición de la inflorescencia hasta la madurez o 150 días de exposición. Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc. Los datos se expresan como media \pm error estándar. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis *post hoc* utilizado.

DISCUSIÓN

La fertilización del suelo es una técnica usada frecuentemente en la viticultura que puede afectar directamente la producción y calidad de las bayas y el vino. Un desbalance en la aplicación de fertilizantes puede causar efectos negativos en la calidad de la fruta (Delgado, et al. 2004).

1. Déficit de Potasio

En este estudio, las plantas fertirrigadas sin adición de K no lograron alcanzar la madurez. Estas plantas tuvieron bayas de menor peso, menor acumulación de sólidos solubles, pH más bajos, acidez más alta y más concentración de ácido málico. El menor tamaño de baya, reflejado en el menor peso de 100 bayas, está relacionado con el déficit de potasio, afectando además el crecimiento de la planta y la turgencia de la piel de las bayas (Marschner 1995).

1.1. *Acumulación de azúcares*

Las bayas de plantas, fertirrigadas en ausencia de K alcanzaron valores de sólidos solubles totales de aproximadamente 10°Brix, o. Por lo tanto, podemos observar que el déficit de potasio disminuyó la acumulación de azúcares. El potasio, además de ser el catión más abundante que contribuye al balance de cargas, puede estar involucrado directamente en el transporte de azúcares (Lang 1983), por lo que el déficit de potasio puede estar

directamente relacionado con la detención o disminución del contenido de azúcares observado en estas plantas.

El déficit de azúcares se puede deber también a que la ausencia de K afecto una de las funciones fisiológicas más importantes de la planta, como es su capacidad fotosintética. Aunque en este estudio esas variables no fueron determinadas, es presumible que la disminución del K produjese un cierre estomático (por pérdida de turgencia en las células de guarda), lo que conllevaría a una caída en la tasa fotosintética y por lo tanto una disminución en la acumulación de azúcares (Ruiz y Sadzawka, 2005).

1.2. Acidez total y pH

Es ampliamente conocido que la acidez total disminuye a medida que avanza la maduración, debido a la dilución por efecto del aumento del agua en las bayas y por efecto de la combustión respiratoria donde el sustrato principal es el ácido málico. Sin embargo, ante la ausencia del potasio, la concentración de ácido málico no descendió y por consiguiente la acidez total, directamente relacionada con este ácido, tampoco descendió bajo los 6 g/L de ácido tartárico. Es difícil encontrar en la literatura los efectos de la ausencia del potasio sobre los ácidos, pero se ha descrito que altos niveles de potasio pueden causar una reducción de la acidez total del mosto, debido a una migración excesiva de los cationes de K⁺ dentro del fruto, lo que produciría la conversión del ácido tartárico a bitrato de potasio (Delgado, et al. 2004). Tomando en cuenta lo descrito por Delgado, tal vez el efecto de la disminución del K y más aún su ausencia durante el desarrollo, pudo

provocar que los cationes de K^+ no migraran dentro del fruto, impidiendo cualquier conversión del ácido tartárico.

Por otra parte, el pH observado para estas plantas fue inferior al resto de los tratamientos. Normalmente, a medida que se incrementan los azúcares y disminuyen los ácidos, el pH se incrementa. Sin embargo, ante un déficit de potasio, se impidió la disminución de los ácidos y por consiguiente se mantuvieron valores de pH similares a los obtenidos a inicios del envero.

1.3. Madurez fenológica

La madurez fenológica se vio claramente afectada por el déficit de potasio. Normalmente durante el proceso de maduración se incrementan los taninos en la piel y los antocianos, disminuyendo los taninos en semillas, a la vez que la EA% y la Mp% disminuyen. Las antocianinas son las mayores responsables del incremento de compuestos fenólicos en la piel de las bayas durante la maduración, y representan más de la mitad de los compuestos fenólicos totales (Somers 1976).

Es esperable que bayas de buena calidad posean valores de EA% superior a 20% e inferiores a 70% para Mp%. Los valores esperados se sitúan entre el 10 y 60%, siendo para ambos casos óptimo obtener alrededor de 30%. En el caso de los antocianos se espera que superen los 1000 mg/l (Zamora 2006). En las bayas sin aporte de potasio, ninguno de estos criterios se cumple, mostrando claramente que no alcanzaron la madurez fenólica. Otros autores han visto efectos similares, por ejemplo observando Índice de polifenoles (IPT) que no disminuyen durante la maduración en bayas sin aporte de N, lo que ha sido

contrarrestado al incrementar el aporte de potasio (Delgado, 2004). Por lo tanto, podemos decir que la presencia de potasio, incluso en ausencia de otros nutrientes de gran importancia como el N, puede ser clave en la acumulación de polifenoles en la baya.

Por otra parte, el déficit de potasio, se reflejó en los análisis de hojas y peciolo, confirmando que esas plantas tuvieron un menor aporte de K.

1.4. Macroelementos y microelementos

Los macroelementos y microelementos no solo modulan la nutrición de las plantas, también cumplen roles importantes a nivel de osmoregulación. Las bayas de plantas sin adición de K, mostraron efectos visuales de deshidratación, lo que se ve comprobada en el número y peso de las bayas. El número de bayas en todos los tratamientos no tuvo diferencias significativas, pero el peso de las bayas del tratamiento 0mM fue significativamente más bajo, por lo que es claro que el contenido de agua fue menor. Durante el segundo periodo de crecimiento rápido de la vid, el potasio es abundante y móvil (Mpelasoka, 2003) y se acumula principalmente en el pericarpio al igual que los fenoles (Coombe y Mc Carthy, 2000). Sin la adición de este componente, la planta no puede osmorregularse correctamente, afectando a su vez al crecimiento de las bayas y la expansión celular, que se produce por efecto osmótico. Otros nutrientes en la baya también pueden contribuir en cierta medida como agentes osmóticos, sin embargo esta contribución es limitada, debido a sus bajas concentraciones, menor movilidad y toxicidad a altas concentraciones (Mpelasoka, 2003).



Es conocida la relación entre el K y el magnesio y el calcio, ambos macroelementos tienden a disminuir su concentración cuando aumenta el K (Sierra, 2003; Morris and Cawthon 1982), que se ve reflejado en los datos obtenidos en este ensayo, donde Ca y Mg disminuyen su concentración a medida que el K aumenta en todos los órganos analizados.

En el caso del Ca, algunos autores (Gautier 1980; Fregoni 1985; Garcia, Daverede et al. 1999) han propuesto que este antagonismo entre el K y el Ca, puede producir un descenso del Ca en las bayas, lo que podría llevar a que se produjesen vinos más ácidos. Este incremento de acidez, como se comentó con anterioridad, también fue observado en el mosto obtenido de las plantas con déficit de K. Por lo que, puede también estar relacionado con el incremento del calcio en las bayas. Asumiendo, que el incremento del Ca pudo afectar la acidez, es posible también que produjese también una inhibición en el crecimiento de los brotes y afectase el desarrollo de las raíces (Sierra, 2003), lo que no fue evaluado en este ensayo.

Para el caso del Mg, el cual incremento en ausencia de K, Pettiet (1988) observo en plantas de algodón suplementadas con K, en suelos con alto Mg y K suficiente, tuvieron una respuesta de crecimiento positiva. En el caso de las plantas deficientes en potasio, no se observó que tuvieran mejoras en el crecimiento. Sino que por el contrario, retraso en la maduración de sus frutos.

Para el caso del N, uno de los fertilizantes más utilizados y más importantes en el manejo nutricional de la vid. El N requiere de un balance nutricional, junto con el K y P.

En las prácticas agrícolas, se utiliza N para incrementar el vigor, rendimiento, tamaño de baya y reservas de N. Sin embargo, un incremento excesivo de este elemento, podría causar un exceso de vigor en las plantas y afectar el vino, alterando la fermentación. Para el caso del déficit de potasio, el nitrógeno se incrementó en bayas a valores superiores al 1%. Sin embargo, las plantas no presentaron incremento en el vigor (datos cualitativos no determinados de forma experimental). Por lo que es posible que este incremento en el N, no fuera de una magnitud que supusiera efectos en el crecimiento de la parte vegetativa.

Al momento de evaluar los micronutrientes es importante destacar, que estos no fueron equilibrados en la solución nutritiva según la concentración de K, como si se realizó con los macronutrientes. Por lo tanto, todos los tratamientos recibieron exactamente la misma cantidad de micronutrientes y sus diferencias están complementemente relacionadas con el tratamiento impuesto.

En peciolo y bayas, existe una tendencia a la acumulación de hierro y Mn. En la planta, estos elementos son esenciales en proteínas y enzimas (Marschner 1995; Serra 2003). En general, los micronutrientes en bayas fueron quienes mejor reflejaron las diferencias en la concentración de K. En bayas, Fe, Mn, Cu y Zn, se incrementaron ante una deficiencia de K.

Sin embargo, en vides, la toxicidad por hierro es un efecto poco reportado (CRCV, 2011). Otros micronutrientes que se incrementaron en la ausencia de K, fueron el Mn, Cu y Zn. Los efectos de la toxicidad de estos elementos han sido poco reportados en vides

(CRCV, 2011). Más aun, en ningún tratamiento de este ensayo se observaron síntomas de deficiencia o toxicidad para ninguno de estos elementos.

2. Exceso de potasio

El potasio es un nutriente esencial para el desarrollo y crecimiento del viñedo, pero niveles excesivos en bayas al momento de la madurez puede reducir la calidad del vino, especialmente en tintos (Davies, et al. 2006).

2.1. Acidez total y pH

Según lo revisado por Davies et al (2006), el incremento de potasio en la bayas tienen un efecto negativo en la calidad del vino, debido al incremento del pH en las bayas. El potasio disminuye los niveles de ácidos en las bayas, interactuando con el ácido tartárico formando bitartrato de potasio (insoluble). El bitartrato de K, es precipitado en la elaboración del vino incrementando el pH, lo que produce defectos en el color, sabor y estabilidad microbiológica. Para mejorar este proceso, los productores de vino agregan ácido tartárico al mosto para reducir los efectos negativos del bitartrato de K, pero es una técnica de alto costo. Por lo que, el exceso de potasio, incurre en un incremento de los costos de producción.

El exceso de potasio, dado por el tratamiento de 3,5 mM produjo un incremento del ácido málico, lo que se relaciona directamente con un aumento, aunque no significativo, de la acidez total. Este incremento en el ácido málico, podría esperar que

incrementara los niveles de pH del tratamiento 3,5 mM , sin embargo este efecto no se observó en este ensayo.

Mpelasoka et al. (2003) describió que un incremento de K en las bayas puede disminuir el ácido tartárico libre, lo que resulta en un aumento del pH de las bayas. Los efectos sobre el ácido tartárico, del cual se esperaría una disminución y conversión en bitartrato de K, no fueron determinados en este ensayo. Sin embargo, es posible que el aumento de pH esperado debido al exceso de potasio no se produjera debido a que, como se observa en la figura 14 C, los niveles de potasio en las bayas se mantuvieron iguales en todos los tratamientos, incluso en ausencia total de K. Por lo que, al no incrementarse el K en las bayas, no se produjeran efectos sobre el pH.

2.2. Peso de bayas y racimos

Entre los efectos beneficiosos del aporte de potasio, destacan sus beneficios en la fertilidad, aumentando el número y peso de los racimos, resultando en un incremento de la producción (Amiri and Fallahi 2007, Valenzuela y Ruiz 1984). En general, indicadores, como el índice de cuajado, el número y peso de bayas fueron muy variables para todos los tratamientos, no logrando demostrar diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, se observa que el peso y número de los racimos fue superior en las plantas fertirrigadas con la más alta concentración de potasio utilizada en este ensayo, por lo que si se observa que el potasio puede tener un efecto beneficioso en el cuajado de las bayas y el peso de racimos.

2.3. Madurez fenológica

Como se detalló antes, el déficit de potasio, impidió la madurez tecnológica y fenólica de las bayas. Si bien el exceso de potasio, no afectó la acumulación de °Brix, si afectó la madurez fenólica, observándose valores de antocianinas totales que no logran alcanzar el mínimo de 1000 mg/L, lo que podría conllevar a la obtención de vinos de inferior calidad.

2.4. Macronutrientes y micronutrientes

Por otra parte, y como era de esperar, un incremento de K en la solución nutritiva resultó en el incremento de los contenidos de K en hojas y peciolo, proceso que concuerda con lo que se ha visto en viñedos cuando se realizan análisis nutricionales luego de la aplicación rutinaria de K (Wolf, Haeseler et al. 1983; Garcia, Daverede et al. 1999; Poni, Quartieri et al. 2003; Delgado, Martin et al. 2004). Estos datos nos confirman que las soluciones nutritivas realmente aportaron una mayor concentración de K a los diferentes tratamientos. A pesar de observar que el contenido de K aportado en la solución nutritiva se vio reflejado en hojas y peciolo, las bayas no denotaron estas diferencias.

El efecto de las diferentes dosis de K, produjo en peciolo un comportamiento inverso en el fósforo, magnesio y nitrógeno. El P es un componente en la formación de macromoléculas y está directamente involucrado en el transporte de energía (ATP), y con el crecimiento inicial de los tejidos. Según observamos, el exceso de K produjo una disminución de P en peciolo, lo que también se representa en bayas. El P es un elemento móvil dentro de la planta y su deficiencia puede provocar detención del crecimiento y menos racimos por planta (Sierra, 2003). En general, las plantas de este ensayo solo

presentaron una disminución del P en peciolas y bayas, pero no en hojas. Esta puede ser la explicación de que no se observara detención del crecimiento o menor fertilidad de las plantas.

Para el Ca y Mg, como se describió antes, se produce una relación inversa al K, donde frente al exceso de este, Ca y Mg, disminuyen. En el caso del Mg, este es un componente integral de la clorofila y su deficiencia produciría clorosis intervenal (Sierra, 2003) y disminuirá las tasas fotosintéticas (Marschner 1995). La disminución de la fotosíntesis, podría haber afectado la acumulación de sólidos solubles totales, por falta de fosoasimilados. Sin embargo, este efecto no se detectó en ninguno de los tratamientos con mayor aporte de K, por lo que se podría presumir que para el caso del Mg, el mayor aporte de K, no logro disminuir el Mg hasta niveles perjudiciales para la clorofila. De hecho, para un correcto crecimiento de la planta, el requerimiento normal de Mg se sitúa en 0,15 - 0,35% del peso seco de los órganos vegetativos (Marschner 1995). Los valores de Mg en este ensayo alcanzaron y superaron el 1% en hojas y peciolas, por lo tanto las plantas de este ensayo tendrían los niveles necesarios de Mg para un crecimiento normal.

El nitrógeno es sin duda el elemento más importante en la nutrición de la vid. Para la plantas con un exceso de K en la solución no se observaron grandes efectos en el nitrógeno, no viéndose afectado y manteniendo niveles muy similares entre que otros tratamientos. Aunque claramente presentando valores superiores en las hojas, donde existe la mayor cantidad de compuestos nitrogenados como los aminoácidos libres, arginina, prolina, amonio y nitrógeno total (Bell and Henschke 2005).

Para el caso de los micronutrientes, un exceso de K, produjo menores concentraciones de Fe, Mn y Zn en las bayas. El hierro juega un papel importante en la formación de clorofila, en la captura de energía y el fortalecimiento de la célula (CRCV, 2011). Una deficiencia de hierro, por ejemplo, disminuye el crecimiento vegetativo, afecta la integridad de la membrana, disminuye la eficiencia fotosintética, reduce el área de hoja y la acumulación de materia seca, provocando en pinot noir abscisión y caída de frutos (Bertamini y Nedunchezian 2005). Sin embargo, la baja concentración de Fe (menor a 50 mg Kg^{-1} de peso seco) en bayas no produjo caída o pérdida de frutos, por lo que la concentración no afectó el desarrollo de la fruta. En cuanto al Mn, si hay reportes de otros autores como Morries et al (1980) los cuales observaron que no solo el Ca y el Mg se reducían al incrementar el K, sino también el Mn en peciolo.

En cuanto al Cu y Zn, en hojas y peciolo, ambos elementos se incrementaron a mayor concentración de K. A pesar de que las cantidades de Cu y Zn que requiere la planta son muy pequeñas, se pueden presentar deficiencias de estos componentes en uva aunque de forma infrecuente. En cuanto al Cu, su aporte produce una buena floración (Sierra 2003), lo que podría relacionarse con los mejores porcentajes de cuajado obtenidos en las plantas de 2,6 y 3,5 mM. A su vez, el porcentaje de Cu peciolar del tratamiento 1,75 mM es el más bajo, llegando a valores iguales a los obtenidos en el tratamiento de 0 mM. Por lo que quizás el Cu, pueda estar ejerciendo algún control sobre la floración y el cuajado.

3. Dosis recomendada para fertirrigar vides en invernadero

En resumen, los macronutrientes y micronutrientes, se vieron afectados por las distintas concentraciones de K, siendo los pecioloos quienes denotan más claramente las diferencias encontradas. Sin embargo, ningún tratamiento, mostro efectos de deficiencia o toxicidad en hojas. No se observó clorosis, pardeamiento, enrrocamiento u otro efecto visual en las hojas. No obstante, si se observaron efectos de deshidratación y menor tamaño de baya, lo que puede ser producido por el desbalance osmótico que produjo la falta de potasio.

En parametros de calidad, podemos tener indicios de que no solo una disminución del potasio puede afectar la calidad, impidiendo la maduración de las bayas. Sino que un exceso de K, como en el tratamiento 3,5 mM, puede mermar de igual forma la calidad de las bayas, reduciendo su contenido de antocianinas. Es claro que la planta requiere de un aporte de K para poder crecer y madurar correctamente y que las diferentes concentraciones de este macronutriente pueden afectar la fisiología de la planta y la calidad de sus bayas.

El tratamiento 1,75 mM, en primera instancia, parece ser la dosis mas adecuada para recomendar en el cultivo en invernadero de vides regadas con solución nutritiva. Ya que, posee una concentración de antocianos superior a 1000 mg/l, EA% y Mp% alrededor de 40% y más intensidad de color que el resto de los tratamientos. Sin embargo, este tratamiento posee una gran desventaja productiva, con un menor porcentaje de cuajado, menos peso de racimo y menos número de bayas. Este menor peso de racimo, puede generar una disminución de la relacion pulpa:piel, y esto conferirle la mayor concentración de antocianos, por un efecto de concentración.

Ante esto, se propone que la mejor concentración de K añadida en la solución nutritiva corresponde al tratamiento de 0,88 mM de K. Este tratamiento tiene un índice de cuajado óptimo (37%), buen peso (149 g) y número de bayas (127) por racimo. En parametros de calidad, a los 150 días de tratamiento presentó sólidos solubles totales superiores a 20°Brix, una menor acidez total y menor concentración de ácido tartárico. En cuanto a la concentración de antocianinas totales, ésta fue superior a los 1000 mg/L, y tanto en EA% y Mp% los valores fueron superiores al 40% y menor al 60%.

El exceso de fertilización potásica, como queda expuesto en los resultados, no siempre genera un incremento de la calidad, más bien puede mermarla. Asimismo, puede provocar desbalances nutricionales. La fertilización en agricultura siempre es un tema de controversia y se requiere de estudios que indiquen los efectos tanto de un exceso como de un déficit de nutrientes. La finalidad de este ensayo, es dar a conocer que un exceso de fertilización puede ser tan dañina como la falta total de ella.

CONCLUSIONES

1. La ausencia de potasio en la solución nutritiva aportada a plantas de vid regadas por fertirriego, produce que las bayas no logren la acumulación de sólidos solubles necesarias para alcanzar la madurez. Esto conllevó a que la acidez total no disminuyera y que el ácido málico, mantuviera niveles altos. Además de presentar un pH más reducido y una baja acumulación de antocianinas.
2. Las plantas con un aporte de potasio de entre 0,88 y 3,5 mM lograron alcanzar la madurez, superando los 20 °Brix, luego de 150 días de tratamiento.
3. En las plantas expuestas a un exceso de potasio, 3,5 mM, se observó una disminución de la calidad de la uva, con una baja concentración de antocianinas y bajo índice de extractabilidad. A su vez, este tratamiento no logró disminuir la acidez total ni el ácido málico, manteniendo niveles similares a los encontrados en el tratamiento de 0 mM de K.
4. El Mg, tuvo una relación inversamente proporcional con el potasio, pero sin mostrar efectos de deficiencias o toxicidad en las plantas.
5. En los micronutrientes, el cobre muestra que puede tener una relación con la floración y el cuajado de los frutos, ya que en el tratamiento de 1,75 mM la concentración de Cu en peciolo y bayas fue menor que en el resto de los tratamientos.
6. A modo de recomendación, en este ensayo se considera que la mejor concentración de potasio en la solución nutritiva es de 0,88 mM, pues ésta mantiene un buen

balance de producción y calidad de bayas cuando son sometidas a la técnica de esquejes fructíferos y mantenidas en invernadero.

PROYECCIONES

En Chile, los efectos de un desbalance en la nutrición del potasio afecta el cultivo de la uva, para vino o mesa. En uva de mesa, este desbalance puede producir desordenes como fiebre de primavera o palo negro, lo que afecta la producción y exportación de la fruta, incrementando los costos productivos. Sería de gran importancia, poder determinar como el potasio, fosforo y nitrogeno, los nutrientes más importantes para el cultivo de la vid, interfieren en estos dos problemas en uva de mesa. De esta manera, se lograría establecer el balance correcto que ayude al control y prevencion de la aparicion de fiebre de primavera y palo negro.

Por otra parte, las consecuencias de la utilización de N, P, K en la agricultura tienen efectos inmediatos en el suelo y napas subterranas. Es importante generar politicas públicas y capacitación para el agricultor, con el fin de informar sobre los efectos del exceso de fertilización. Ante esto, es impoerte identificar no solo los efectos sobre el suelo y el agua, sino también cómo un exceso de fertilización, a largo plazo puede disminuir la producción de los cutlivos.

Los resultados de este ensayo y las discusiones obtenidas desde el, dan a conocer que existen importantes efectos en la calidad de las bayas de vid, afectadas por el exceso o deficit de potasio. En general, algunos de los efectos observados pueden relacionarse

con el intercambio gaseoso y el proceso fotosintético de planta. Sin embargo, durante este ensayo esos parámetros no fueron determinados. Ante esto, para lograr comprender a cabalidad los efectos que produce un exceso o un déficit de potasio sobre el desarrollo de la vida, es necesario complementar los datos aquí obtenidos con valores de intercambio gaseoso que puedan dilucidar de mejor forma cómo se comporta la planta frente a un desbalance nutricional debido al potasio.

BIBLIOGRAFIA

- Abadia, A., M. Sanz, et al. (1989). "Photosynthetic pigments and mineral-composition of iron deficient pear leaves." *Journal of Plant Nutrition* 12(7): 827-838.
- Abadia, J., J. N. Nishio, et al. (1985). "Mineral-composition of peach leaves affected by iron chlorosis." *Journal of Plant Nutrition* 8(8): 697-707.
- Amiri, M. E. and E. Fallahi (2007). "Influence of mineral nutrients on growth, yield, berry quality, and petiole mineral nutrient concentrations of table grape." *Journal of Plant Nutrition* 30(3): 463-470.
- Antolín MC, Santesteban H, M. Ayari, J. Aguirreolea, M. Sánchez-Díaz (2010). Grapevine fruiting cuttings: an experimental system to study grapevine physiology under water deficit conditions. En: (Delrot, S, Medrano Gil H, Or E, Methodologies and Results in Grapevine Research
- Aranjuelo, I. (2004). Efecto de la interacción entre CO₂ elevado, temperatura y disponibilidad hídrica sobre el crecimiento de plantas de alfalfa (*Medicago sativa*). Tesis Doctoral. Universidad de Navarra.
- Avagnina, M y Catania, C (2011). Madurez de la Uva. En: Curso de degustación de vinos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA. Argentina.
- Baillo, M. and M. Baggiolini (1993). "Les stades repères de la vigne." *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture* 28: 7-9.
- Bavaresco, L., M. Gatti, et al. (2010). Nutritional Deficiencies En: (Delrot, S, Medrano Gil H, Or E, Methodologies and Results in Grapevine Research : 165-191.
- Bell, S. J. and P. A. Henschke (2005). "Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11(3): 242-295.

- Bertamini, M. and N. Nedunchezian (2005). "Grapevine growth and physiological responses to iron deficiency." *Journal of Plant Nutrition* 28(5): 737-749
- Bujan, J. (2003). *Guia De La Nueva Cultura Del Vino*. Barcelona.
- Coombe, B., Mc Carthy M. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape Wine Research* 6, 131-135 pp.
- Conradie, W.J. (1981). Seasonal uptake of nutrients by Cheninblanc in sand culture: II. Phosphorus, potassium, calcium and magnesium. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 2(1):7-13.
- Conradie W.J and D. Saayman. (1989) Effects of Long-Term Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization on Cheninblanc Vines. II. Leaf Analyses and Grape Composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:91-9
- Champagnol, F., (1990). Rajeunir le diagnostic foliaire. *Progres Agricole et Viticole* 107,341-351.
- CRCV. (2001). Cooperative research center of viticulture. *Grapevine nutrition 7: Trace elements.*
- Davies, C., R. Shin, et al. (2006). "Transporters expressed during grape berry (*Vitis vinifera* L.) development are associated with an increase in berry size and berry potassium accumulation." *Journal of Experimental Botany* 57(12): 3209-3216.
- Downton W.J.S. (1977) Influence of rootstocks on the accumulation of chloride, sodium and potassium in grapevines. *Australian Journal of Agricultural Research* 28, 879-889.
- Delgado, R., P. Martin, et al. (2004). "Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilisation rates." *J. Sci. Food Agric.* 84(7): 623-630.

- Fregoni, M. (1985). "Exigences d'éléments nutritifs en viticulture." *Bulletin de l'O.I.V.*: 650-651.
- Garcia, M., C. Daverede, et al. (1999). "Effect of various potassium-calcium ratios on cation nutrition of grape grown hydroponically." *Journal of Plant Nutrition* 22(3): 417-425.
- Galet, P. (1995). "Précis de Viticulture." Imprimerie Déhan, Montpellier.
- Gautier, P. (1980). "Diagnostic foliaire de la vigne. Etudes par analyses factorielles en composantes principales sur plusieurs années." 5th International Colloquium Plant Nutrition Control. Casteltranco Veneto, Italy: 587-590
- Giaquinta, R.T. (1979). Phloem loading of sucrose. Involvement of membrane ATPase proton transport. *Plant Physiology*. 63: 744-748
- Gil, G., and Pszczolkowski P. (2007). *Viticultura: Fundamentos para optimizar producción y calidad*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Glories, Y. and M. Augustin (1993). "Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: applications aux millésimes 1991 et 1992." Actes du Colloque "Journée technique du CIVB" 21 Janvier, Bordeaux: 56.
- Groot Obbink J; Alexander D; et al. (1973). Use of nitrogen and potassium reserves during growth of grape vine cuttings. *Vitis* 12: 207-213
- Hall, S.M y Baker, D.A. (1971). Phloem transport of ¹⁴C. labelled assimilates in *Ricinus*. *Planta* 100: 200-207
- Hirzel, J. 2008 (Editor). *Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en Frutales y Vides*. Colección Libros INIA-24. ISSN 0717-4713. 296 p.
- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon (1950). "The water-culture method for growing plants without soil." California agricultural experiment station, circular 347: 1-32.

- Intrigliolo, D. S. and J. R. Castel (2009). Response of *Vitis vinifera* cv. 'Tempranillo' to partial rootzone drying in the field: Water relations, growth, yield and fruit and wine quality. *Agr Water Manage* 96: 282-292.
- Lang, A. (1983). "Turgor-regulated translocation." *Plant Cell and Environment* 6(9): 683-689.
- Marschner, H. (1995). Introduction, Definition, and Classification of Mineral Nutrients. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. L. Academic Press.
- Martinez de Toda, F. (1991). *Biología de la vid : fundamentos biológicos de la viticultura*. Madrid.
- Martinez de Toda F. (2008). *Claves de la Viticultura de Calidad*, Mundi Prensa España.
- McCarthy, MG. (1981). Irrigation of grapevines with sewage effluent. 1. Effects on yield and petiole composition. *Am. J. Enol.Vitic.* 32: 189–196.
- Morris, J. R. and D. L. Cawthon (1982). "Effect of Irrigation, Fruit Load, and Potassium Fertilization on Yield, Quality, and Petiole Analysis of Concord (*Vitislabrusca* L.) Grapes." *American Journal of Enology and Viticulture* 33(3): 145-148.
- Morris, J.; Cawthorn, P. L.; et al. (1980) Effect of high rates of potassium fertilization on raw product quality and changes in pH and acidity during storage of Concord grape juice. *Am. J. Enol.Vitic.* 31, 323-328.
- Mpelasoka, B, Schachtman, D, et al. (2003). "A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 9(3): 154-168.
- Mullins, M. G. (1966). Test-plant for investigations of the physiology of fruiting in *Vitis vinifera* L. *Nature* 209: 419-420.

- Niu, Z. M., X. F. Xu, et al. (2008). Effects of leaf-applied potassium, gibberellin and source-sink ratio on potassium absorption and distribution in grape fruits. *Scientia Horticulturae* 115(2): 164-167
- OIV. (2003). Coyunturavitivinicolamundial 2013. Organización mundial de la viña y el vino.
- Ollat, N., L. Geny, et al. (1998). "Les boutures fructifères de vigne: validation d'un modèle d'étude du développement de la physiologie de la vigne. I. Caractéristiques de l'appareil végétatif." *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 32: 1-9
- Pettiet, J. V. (1988). "The Influence of Exchangeable Magnesium on Potassium Uptake in Cotton Grown on Mississippi Delta Soils." *Proceedings Beltwide Cotton. Production Research Conferences* 517:518.
- Peuke, A. D. (2009). Nutrient composition of leaves and fruit juice of grapevine as affected by soil and nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172(4): 557-564.
- Pirie, A. and Mullins, M. (1977). Interrelationships of sugars, anthocyanins, total phenols and dry weight in the skin of grape berries during ripening. *Am. J. Enol. Vitic.* 28: 204-209.
- Poni, S., M. Quartieri, et al. (2003). "Potassium nutrition of Cabernet Sauvignon grapevines (*Vitis vinifera* L.) as affected by shoot trimming." *Plant and Soil* 253(2): 341-351
- Rebelein, H. (1973). "Rapid quantitative determination of tartaric acid." *Chemie, Mikrobiologie, Technologie der Lebensmittel* 2: 33-38.
- Reynier, A. (2005). *Manual de viticultura : guía técnica de viticultura*. Madrid.
- Ribéreau-Gayon, J. and E. Stonestreet (1965). "Le dosage des anthocyanes dans le vin rouge " *Bulletin de la Société de Chimie* 9: 2649-2652.

- Romero I, Rueda I, et al. (2005). Evaluación del estado nutricional de la variedad Tempranillo en el ámbito de la DOCa Rioja. *Vida rural* 347: 38-44.
- Ruiz, R. (2000). Nutrición mineral. En: *Uva de mesa en Chile*. Ed. J. Valenzuela. INIA: 113-143
- Ruiz, R., y A. Sadzawka. 2005. Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Colección Libros INIA-14. ISBN 956-7016-21-6.
- Santa María, E. (2004). Incidencia de *Botrytis cinerea* en relación con diferentes aspectos fisiológicos de la vid., PhD. Dissertation, University of Navarra, Spain.
- Sierra, C. 2003 "Fertilización de cultivos y frutales en la zona norte". Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). Boletín INIA N°97, 72 p.
- Somers, T. C. (1976). "Pigment development during ripening of the grape." *Vitis*: 14 (4) 269-277 14(4): 269-277.
- Suleman, M., S. Dal, et al. (1993). Growth, yield and quality of grapes as affected by pruning and basal application of potassium. *Haryana Journal of Horticultural Science*: 22 (3) 179-182 22(3): 179-18.
- Valenzuela, J y Ruiz, R. (1984). Corrección de deficiencias de potasio en viñedos regados en la zona de Talca. I. Efecto en la planta. *Agricultura Técnica (Chile)* 44 (4): 295-298
- Wolf, T. K., C. W. Haeseler, et al. (1983). "Growth and foliar elemental composition of Seyvalblanc grapevines as affected by 4 nutrient solution concentrations of nitrogen, potassium and magnesium." *American Journal of Enology and Viticulture* 34(4): 271-277
- Vidal, M. and J. Blouin (1978). "Dosage colorimétrique rapide de l'acide tartrique dans les moûts et les vins." *Rev. Fr. Oenologie*. 16: 39-46.

Zamora F (2006). La madurez fenólica de la uva, metodologías e interpretación.
Jornadas Técnicas. Universitat Rovira i Virgili.

ANEXO

Análisis estadístico

Para el análisis de datos, los parámetros estudiados luego de 150 días en tratamientos con entre 0 y 3,5 mM potasio, fueron divididos en parámetros de calidad y parámetros nutricionales (macronutrientes y micronutrientes) para ser evaluados de forma independiente. Se realizaron los análisis estadísticos descritos en los materiales y métodos. En la tabla 4, de parámetros de calidad, se observa que el resultado del test de normalidad (Shapiro-Wilk), determinó que los parámetros de sólidos solubles totales, antocianinas totales e intensidad colorante no muestran una distribución normal por lo que deben ser tratados como datos no paramétricos.

Tabla 4. Análisis estadístico para los parámetros de calidad.

	<i>Shapiro-Wilk</i>	<i>Levene</i>	<i>ANOVA</i>	<i>Kruskal Wallis</i>
Parámetros de calidad	Significancia			
Sólidos Solubles Totales	0,041	-		0,04
Antocianinas Potenciales	0,540	0,015	0,006	-
Antocianinas Totales	0,017	-		0,05
Índice de Polifenoles Totales	0,060	0,429	0,373	-
Extractabilidad de los Antocianos	0,657	0,220	0,940	-
Madures Polifenólica	0,118	0,081	0,015	-
pH	0,122	0,151	0,001	-
Acidez Total (Tartárico)	0,112	0,104	0,003	-
Peso de Bayas	0,329	0,090	0,296	-
Índice de Cuajado	0,109	0,092	0,349	-
Tonalidad	0,240	0,299	0,005	-
Intensidad Colorante	0,026	-		0,126
Ácido Málico	0,400	0,795	0,015	-
Taninos	0,089	0,037	0,149	-

* En negritas se indican los valores significativos ($p \leq 0,05$). “-“ Análisis no pertinente.

En la tabla 5, se detallan los resultados estadísticos para los macronutrientes y micronutrientes, que han sido evaluados en hojas, peciolo y bayas al momento de la madurez (luego de 150 días de tratamiento). Estos parámetros muestran un alto porcentaje de distribución no normal, sobre todo en hojas y bayas, los que fueron analizados mediante estadística no paramétrica.

Tabla 5. Análisis estadístico para los parámetros nutricionales

		Shapiro-Wilk	Levene	ANOVA	Kruskal Wallis
Nutrientes		Significancias			
Peciolo	N	0,714	0,008	0,028	-
	P	0,042	-	-	0,038
	Ca	0,668	0,012	0,380	-
	Mg	0,004	-	-	0,276
	K	0,064	0,107	0,001	-
	Fe	0,022	-	-	0,566
	Mn	0,003	-	-	0,676
	Cu	0,014	-	-	0,036
	Zn	0,010	-	-	0,030
Hojas	N	0,530	0,924	0,156	-
	P	0,113	0,360	0,080	-
	Ca	0,267	0,133	0,092	-
	Mg	0,506	0,353	0,008	-
	K	0,179	0,075	0,001	-
	Fe	0,030	-	-	0,109
	Mn	0,227	0,109	0,055	-
	Cu	0,033	-	-	0,036
	Zn	0,441	2,099	0,038	-
Bayas	N	0,025	-	-	0,032
	P	0,000	-	-	0,263
	Ca	0,000	-	-	0,193
	Mg	0,004	-	-	0,217
	K	0,000	-	-	0,533
	Fe	0,001	-	-	0,003
	Mn	0,002	-	-	0,083
	Cu	0,000	-	-	0,294
	Zn	0,002	-	-	0,100

* En negritas se indican los valores significativos ($p \leq 0,05$). "-" Análisis no pertinente