

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

**Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada**



Ciencias del
Agro,
Ingeniería
y Tecnología

Año 17 N° 48

Enero - Abril 2026

Tercera Época

Maracaibo-Venezuela

Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva Syrah y Cabernet Sauvignon

Yara Nohely Moncayo Nájera *

Damián Aaron Porras Flores **

Esteban Sánchez Chávez ***

Orlando Ramírez Valle****

María Antonia Flores Córdova*****

RESUMEN

Las altas temperaturas, la limitada disponibilidad de agua y las marcadas diferencias térmicas entre el día y la noche están alterando las condiciones ideales para el desarrollo de la vid. El objetivo de este trabajo fue analizar la adaptación y cambio climático (CC) en la calidad y contenido fenólico de la uva Syrah (S) y Cabernet Sauvignon (CS). Se seleccionó un viñedo en la región del Sauz dentro del estado de Chihuahua, México. Se registraron variables meteorológicas y se caracterizó la zona vinícola utilizando los índices Winkler con base en los registros de temperatura. Se evaluó el contenido mineral en la hoja por cromatografía, el pH, Sólidos Solubles (SS), Acidez Total (AT) y contenido fenólico en dos variedades de uva (S) y (CS). Los resultados indicaron un incremento de temperatura en el mes de Julio y por tanto un aumento en la tasa de evapotranspiración, siendo la variedad (S) la de mayor requerimiento hídrico y mayor contenido de compuestos fenólicos y SS. La variedad (CS) presentó el mayor contenido de macro y microelementos, un pH más alto por lo tanto una uva más ácida. Finalmente se concluye que el incremento de temperaturas y baja humedad inciden en la acumulación de azúcares y la degradación de la acidez alterando los procesos fisiológicos y la calidad de la uva y por consiguiente del vino.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, Producción agrícola, Fenoles, México.

* Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8005-385X>. E-mail: ymoncayo@uach.mx

** Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9536-4007>. E-mail: daporras@uach.mx

***Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. CIAD. Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6845-4290>. E-mail: esteban@ciad.mx

****Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP. Campo Experimental La Campana-Sierra de Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6699-148X>. E-mail: ramirez.orlandois@gmail.com

***** Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9654-8067>. Autor de correspondencia: mafloresc@uach.mx

Recibido: 02-09-2025

Aceptado: 03-11-2025

Adaptation and Climate Change in the Quality and Phenolic Content of Syrah and Cabernet Sauvignon Grapes

ABSTRACT

High temperatures, limited water availability, and marked thermal differences between day and night are altering the optimal conditions for grapevine development. Therefore, the objective of this study was to analyze the adaptation and impact of climate change (CC) on the quality and phenolic content of Syrah (S) and Cabernet Sauvignon (CS) grapes. A vineyard located in the El Sauz region of the state of Chihuahua, México. Meteorological variables were recorded, and the viticultural zone was characterized using the Winkler Index based on temperature data. Quality parameters such as pH, soluble solids (SS), total acidity (TA), and phenolic content were evaluated in the two grape varieties, S and CS, along with the mineral content in leaves through chromatography. The results indicated a temperature increase in July, which led to a higher evapotranspiration rate. The Syrah variety showed greater water requirements and higher levels of phenolic compounds and soluble solids. In contrast, Cabernet Sauvignon exhibited higher concentrations of macro- and microelements, along with a higher pH, indicating more acidic grapes. In conclusion, the increase in temperatures and low humidity conditions affect sugar accumulation and acidity degradation, altering the physiological processes and overall grape and wine quality.

KEYWORDS: Climate change, Agricultural production, Phenols, Mexico.

Introducción

El cambio climático está generando numerosas transformaciones en la adaptación de las plantas en viñedos de todo el mundo (Moreno et al., 2023; Naulleau et al., 2021; Van Leeuwen et al., 2019). El sector vitivinícola presenta una alta vulnerabilidad frente al cambio climático (CC), debido a su marcada dependencia a las condiciones climáticas y ambientales. Especialmente, al incremento de las temperaturas y estrés hídrico asociados al CC, que generan efectos sobre la fisiología, fenología, rendimiento y calidad de la uva (Lasanta et al., 2022). Los posibles factores de adaptación son numerosos, abarcando tanto el clima, suelo, agua, así como, características en fruto y las operaciones técnicas a lo largo de la cadena de producción, desde la plantación hasta el manejo del cultivo y la vinificación. Por lo tanto, es interesante comprender cómo la investigación sobre la vid examina las prácticas de manejo, así como los factores del "terroir" para

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21
proponer y evaluar estrategias de adaptación al cambio climático (Van Leeuwen y De Rességuier 2018).

Terroir es una palabra francesa que se refiere a la combinación única de suelo, clima, topografía y otros factores ambientales de un área que pueden afectar las características organolépticas de la uva, las cuales, independientemente de ser la misma variedad, pueden variar considerablemente en diferentes regiones dependiendo de la combinación de los factores (Bloom y Brundin 2023). De esta manera, la expresión del terruño puede optimizarse eligiendo el material vegetal adecuado, el manejo del suelo del viñedo, la fertilización y otras técnicas de manejo (Van Leeuwen y De Rességuier 2018). Otro factor importante es el suministro de agua ya que los metabolitos secundarios, como los polifenoles (antocianinas, taninos), se ven afectados en particular por el estado hídrico de la vid (Van Leeuwen y De Rességuier 2018).

Recientemente, el papel de los polifenoles ha abierto nuevas posibilidades analíticas respecto a su influencia en la calidad de la uva (Larrauri et al., 2017). Ya que, se reconoce que la valoración de la uva destinada a la elaboración de vinos tintos de calidad debe contemplar su potencial polifenólico, dado el papel fundamental que estos compuestos desempeñan en enología. En este sentido, variedades como *Cabernet Sauvignon* y *Syrah* han mostrado una buena adaptación a climas cálidos. Aun así, al igual que al resto de variedades, las consecuencias del CC son cada vez más evidentes. Tradicionalmente, la determinación de la cosecha se ha basado en la evolución de los principales componentes de la baya como los azúcares y los ácidos, definiendo así la denominada “madurez tecnológica”. Uno de los efectos más relevantes, es la separación entre la madurez tecnológica y la fenólica, un fenómeno que presenta respuestas complejas según la variedad de vid; Asimismo, temperaturas superiores a 35 °C reducen la actividad fisiológica de la vid, generando impactos negativos en la productividad y en la calidad sensorial del fruto. Estas condiciones térmicas extremas también provocan alteraciones en el metabolismo primario, lo que a su vez genera una desincronización en el metabolismo secundario, afectando la síntesis de compuestos fenólicos y aromáticos, así como el equilibrio de azúcares y ácidos orgánicos (Drappier, et al., 2019; Moreno et al., 2023) y mostrando las características fenólicas de diferentes variedades de vid, para expresar su adaptación al nuevo escenario climático, así como a la calidad de sus uvas y vinos (Moreno et al., 2023).

Estudios previos mencionan el impacto del CC en la viticultura, así como la importancia del efecto de las propiedades físicas del suelo, sobre el rendimiento, composición y calidad de la uva (Quezada et al., 2014; Santander et al., 2022; Santos et al., 2020; Van Leeuwen et al., 2019). La vulnerabilidad de la viticultura al CC depende de la magnitud de estas variaciones, lo cual determinaría la capacidad de adaptación del cultivo. Por este motivo, el objetivo de este estudio fue determinar la adaptación, cambio climático y contenido fenólico de la uva Syrah y Cabernet Sauvignon.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Descripción del sitio

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionó un viñedo en la región del Sauz dentro del estado de Chihuahua, México (29°07'18"N 106°22'29"W) a una altitud de 1,400 metros sobre el nivel del mar. El suelo del Viñedo Syrah presenta una composición física de arena del 44%, 28% de limo y 27% arcilla, determinándose como suelo migajoso arcilloso limoso. Por otro lado, la variedad Cabernet Sauvignon (CS) presenta 38% de arena, 32 % de limo y 30% de arcilla. Así mismo, Syrah y CS mostraron un pH de 6.5 y 6.6, una CE de 0.64 dS/m y ligeramente salina de 1.30 dS/m, libres de CaCO_3 , una saturación media baja de 31 y 30 %, baja concentración de materia orgánica de 0.61%, y Conductividad Hidráulica muy rápida de 26.17 y 20.74 cm/h. Las características fisicoquímicas para ambas variedades presentaron una concentración alta de K 187.5 kg ha⁻¹, Ca 3300 y 3412.50 kg ha⁻¹; Mg 212.5 y 170 kg ha⁻¹ en Syrah y CS respectivamente. Así como concentraciones bajas de Nt 93.75 y 99.38 kg ha⁻¹; fósforo 30.8 y 36.51 mg kg⁻¹; Fe 3.28 y 1.76 kg ha⁻¹; Mn 3.36 y 2.88 kg ha⁻¹; Zn 0.56 y 0.34 kg ha⁻¹; Cu 0.18 y 0.26 kg ha⁻¹ y Na 400 y 500 kg ha⁻¹.

1.2. Manejo del viñedo

El viñedo cubre una superficie de 9 ha (Cabernet Sauvignon y Syrah), con los portainjertos II0 R clon 338 y 15, SO4 clon 15, y Paulsen 1003 clon 1141 y MGT747, plantados a 3 m entre hileras y 1 m entre cepas, conducidos por el sistema modificado de posicionamiento vertical de brotes (VSP). Las plantas fueron podadas a dos yemas visibles. La fertilización foliar aplicada fue de B 3.6 kg ha⁻¹; Ca 3.6 kg ha⁻¹; K 1.2 kg ha⁻¹; Mg 1.2 kg ha⁻¹; Fe 1.2 kg ha⁻¹; Z 1.2 kg ha⁻¹.

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21
1; micorrizas 1 kg ha⁻¹ y algas marinas 2 lt ha⁻¹, la fertilización de suelo aplicada fue de 150 Mg(NO₃) 2 kg ha⁻¹; ácidos húmicos 10.40 lts ha⁻¹; AGN 2 lt ha⁻¹ y bacterias 3l gr ha⁻¹.

1.3. Riego

Las vides se regaron por goteo superficial, un emisor por cepa (2 L·h⁻¹) a una presión de operación de 100 kPa. La longitud de líneas fue de 100 m. y contenían 100 vides. El tiempo de riego en época de maduración fue de 16 horas con una frecuencia de 1 a 2 días.

1.4. Diseño experimental

El experimento de campo se llevó a cabo en un diseño completamente al azar por parcelas divididas con tres repeticiones. Las bayas se recolectaron usando una metodología aleatoria que consistió en tomar la muestra en forma de zigzag con la intención de obtener una muestra representativa del viñedo. Se tomó una baya por planta en 800 plantas.

1.5. Parámetros a evaluar

1.5.1. Datos climatológicos

Las condiciones climáticas se registraron de forma continua mediante estaciones meteorológicas automáticas FieldClimate, instaladas dentro del viñedo. Los datos fueron recolectados a intervalos de 15 minutos y posteriormente consolidados en registros horarios. Se monitorearon las variables de temperaturas mínimas y máximas (°C), radiación solar (kW/m²), humedad relativa HC (%) y velocidad de viento (km/h).

La evapotranspiración de referencia (ET₀) fue obtenida directamente desde la estación meteorológica automática (FieldClimate), la cual estima este parámetro mediante el modelo FAO Penman-Monteith, conforme a la metodología estandarizada para zonas agrícolas (Allen et al., 1998).

1.5.2. Determinación Foliar

El muestreo foliar se realizó en floración. Se tomaron dos hojas por cepa. Se recolectaron 70 hojas enteras, sanas, opuestas al primer racimo (del pámpano principal). Una vez recolectado el material vegetal, este se colocó en bolsas de papel y en una hielera para evitar la deshidratación y conservar la calidad de la muestra. Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de suelo y

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21
agua de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Se midió K,Ca,Mg,Na,Cu,Fe,Mn y Zn por medio de mezcla digestora triádica y absorción atómica. Fósforo por medio de mezcla digestora triádica vanadato y colorimetría y Nit. totales por la metodología de Micro-Kjeldahl.

1.5.3. Compuestos químicos y fenoles

Se obtuvieron aproximadamente 800 vayas de 800 plantas. Una vez recolectado el material vegetal, este se colocó en una hielera para conservar la calidad de la muestra y trasladarlos al laboratorio de enología de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Posteriormente se realizó la maceración de la uva a mano para poder obtener el mosto, el cual pasó por filtrado y fue colocado por triplicado en el equipo Biosystems SPICA, para analizar contenido de azúcar, pH, acidez total y concentración de polifenoles.

1.5.4. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) con el fin de identificar posibles diferencias significativas entre las medias de los parámetros evaluados. Posteriormente, la comparación de medias se realizó utilizando la prueba Tukey mediante programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System) ver. 9.2 (SAS, 2009).

2. Resultados y discusión

2.1. Condiciones climáticas

Aunque parte de los cambios en el comportamiento de la vid pueden atribuirse a la evolución de las prácticas de manejo, la recurrente variabilidad climática, y en particular el aumento de las temperaturas ha sido los principales factores que han influido en el desarrollo y maduración de la uva (van Leeuwen & Darriet, 2016). Como resultado, es muy probable que el CC tenga efectos predominantemente negativos en la calidad y el estilo del vino, especialmente en regiones cálidas como Chihuahua, lo que a largo plazo puede causar cambios en las variedades de vid y las áreas de producción adecuadas. Por lo tanto, la temperatura es uno de los principales problemas medioambientales y socioeconómicos a los que se enfrenta el desarrollo y la producción vitivinícola sostenible en el próximo siglo (Quénol et al., 2023; Van Leeuwen et al.,

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21 2019). Lo cual implica la plantación de nuevos viñedos a regiones donde antes no existía la viticultura (Prieto et al., 2024).

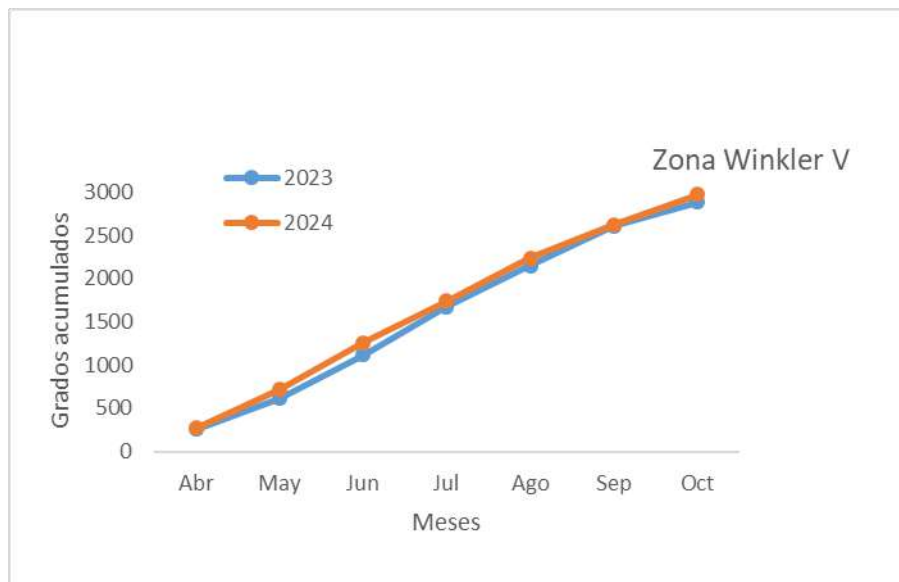


Figura 1. Acumulación de calor de los índices Winkler para el Sauz durante el 2023 y 2024. En el eje derecho se muestra la categoría del índice.

La Figura 1 muestra la acumulación de calor y apreciamos que los índices Winkler presentan un incremento a través del tiempo. Los valores de Grados días acumulados (GDD) en 2024 son ligeramente más altos que en 2023 en todos los meses del periodo analizado, este incremento total de 2023 a 2024 es de aproximadamente +86.41 unidades al final del periodo, lo cual representa una diferencia relativa del 3.0%, lo que podría indicar un aumento en la temperatura o condiciones más cálidas en 2024. Con base en el Índice de Winkler (IW), el viñedo se clasificó en la zona V, considerada como muy caliente. Estos resultados coinciden con diversos estudios que indican una tendencia global al incremento de las temperaturas (Jorqueta y Orrego, 2010; Valenzuela et al., 2014). Este aumento en la acumulación de calor, reflejado en los índices bioclimáticos, está estrechamente relacionado con el incremento de temperaturas, lo que puede influir significativamente en la calidad y las características de la uva y por lo tanto del vino producido. Se considera que las zonas templadas y templado-cálidas son óptimas para el crecimiento de la vid y producción de uva para vino de calidad (Van Leeuwen et al., 2019).

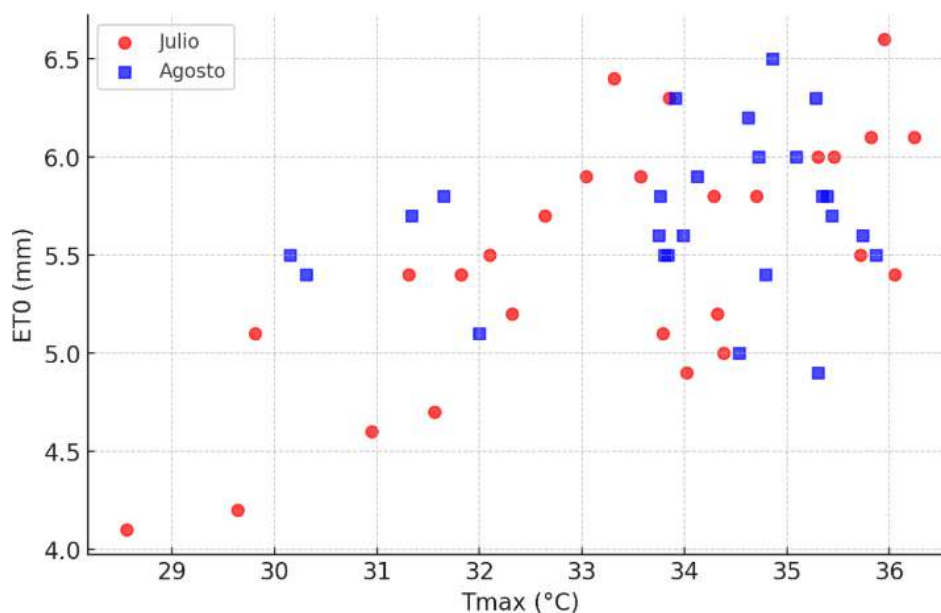


Figura 2. Evapotranspiración de referencia (ET_0) para el Sauz durante el 2024.

En la figura 2 se aprecia como la temperatura máxima aumenta gradualmente, alcanzando su punto más alto en julio ($\sim 36^\circ\text{C}$). Por lo tanto, la evapotranspiración de referencia (ET_0) aumenta gradualmente, lo que podría indicar una mayor demanda hídrica en el viñedo, dado que la ET_0 de referencia está directamente influenciada por la temperatura, entre otros factores, su incremento gradual en este periodo es una consecuencia directa del aumento térmico. Por lo tanto, el aumento de ET_0 indica una mayor demanda hídrica en el viñedo, ya que una temperatura elevada promueve una mayor evaporación del agua al suelo, y una mayor transpiración por parte de la vid. La humedad relativa es baja en los meses cálidos, lo que favorece la acumulación de azúcares acelerando la maduración de la uva, contribuyendo a niveles altos de contenido de azúcar en la uva. Sin embargo, las temperaturas mayores a $>35^\circ\text{C}$ puede provocar deshidratación de las bayas, aumentando la concentración de azúcar, pero reduciendo la acidez total. Estudios mencionan, que las altas temperaturas se han correlacionado con una reducción de la acidez y una rápida síntesis de azúcares (Ruiz et al., 2023).

Con el incremento en la temperatura, no solo se acelera el período fenológico de las uvas, sino que también se ven afectados los componentes del período de maduración. En muchas zonas productoras se detecta una tendencia al aumento del azúcar, que aumenta el grado alcohólico potencial del vino, mientras que la acidez se reduce significativamente (Moreno et al., 2022) y

esta es una de las principales razones por las que la variedad de uva Cabernet Sauvignon y Syrah, cultivadas principalmente en zonas cálidas, están siendo afectadas por el cambio climático.

Los resultados indican que la variedad Syrah presenta una mayor demanda de agua. En este contexto, es fundamental establecer programas de riego apropiados para desarrollar cultivos vitícolas exitosos, y esto solo se puede lograr conociendo detalladamente las variaciones de ET_0 a lo largo del año. Además, diferentes estudios han demostrado que inducir el estrés hídrico moderado pueden mejorar la composición o calidad de las uvas usadas para la producción de vino (Romero et al., 2013).

2.2. Determinación foliar

Como se puede observar en la Tabla 1, existen diferencias significativas ($p < 0,05$). entre las variedades evaluadas, siendo Cabernet Sauvignon la que presenta las mayores concentraciones de macros y microelementos, como Mn y zinc que son elementos esenciales en procesos enzimáticos, fotosíntesis y defensa frente a estrés (Ramos y Romero, 2016). Esto sugiere que esta variedad podría tener mayor eficiencia metabólica o adaptativa, aunque esto depende también del entorno edafoclimático, también presenta mayores niveles de N, Ca y Mg, lo cual puede indicar un crecimiento vegetativo más vigoroso, y se ha reportado que aumenta la resistencia a la sequía en las plantas (Candar et al., 2021). Por otro lado, Syrah tiene mayor potasio, asociado a maduración y calidad del fruto. Las diferencias en sodio son pequeñas, pero podrían indicar mayor tolerancia salina en Syrah (Gutiérrez et al., 2019). Las diferencias observadas sugieren que el manejo nutricional debe ajustarse por variedad, especialmente en fertilización.

2.3. Compuestos químicos

Los resultados obtenidos en compuestos químicos se observan en la tabla 2, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) en pH y °Bx. La uva Syrah presentó una concentración de 27.3 °Brix, mientras que Cabernet Sauvignon alcanzó 25.2 °Brix. Estos valores indican un mayor contenido de azúcares en Syrah, lo que sugiere una mayor madurez y un posible incremento en el potencial alcohólico del vino final. En general, los valores óptimos de °Brix en uvas para vinificación oscilan entre 22 y 26 °Brix, dependiendo de la variedad y el estilo de vino a elaborar

(Iland et al., 2013). Por lo tanto, el valor registrado en Syrah se encuentra en el rango alto, mientras que el de Cabernet Sauvignon está dentro del rango esperado. El comportamiento de Syrah es esperado debido a que es una variedad temprana por lo tanto suele madurar más rápido y acumular más azúcares en la etapa final. En pH se observó una diferencia entre ambas variedades, con Syrah alcanzando un pH de 4.0, mientras que Cabernet Sauvignon presentó un pH de 3.6. Generalmente, el pH óptimo del mosto de uva para vinificación se encuentra entre 3.2 y 3.8 (Jackson, 2020). Un pH de 4.0 en Syrah podría afectar la estabilidad microbiológica y la capacidad de envejecimiento del vino, haciéndolo más susceptible a alteraciones. En la acidez total (AT) no se encontraron diferencias significativas entre las variedades, ambas con un valor de 3.3 g/L. En general, la acidez total óptima para la producción de vinos de calidad suele estar entre 4.5 y 7.5 g/L de ácido tartárico (Ribéreau-Gayon et al., 2006), lo que indica que ambos valores están por debajo del rango recomendado. Estos parámetros mostraron tendencias típicas de maduración de la uva, es decir, una disminución de la acidez y un aumento del pH, con un aumento de los sólidos solubles totales (°Brix) de las uvas, esto es porque a medida que la uva madura, los azúcares se acumulan, aumentando los grados °Brix, mientras que la acidez total disminuye debido a la degradación de ácidos orgánicos, lo que a su vez eleva el pH del mosto.

Cabe mencionar que la temporada de cosecha de 2024 en la zona del Sauz se caracterizó por una estación seca, precedida por un verano muy cálido con precipitaciones bajas. Esto resultados concuerdan con lo señalado por Cabello-pasini et al. 2017, quienes destacan que las variaciones en la maduración de la uva están asociadas a variaciones climáticas de mesoescala o gran escala. Así, mismo en regiones cálidas o en temporadas donde se registran temperaturas máximas más elevadas durante el periodo de maduración, se observa un incremento acelerado en la concentración de sólidos solubles, lo que adelanta la fecha de cosecha (Cabello-pasini et al., 2017).

Tabla 1.- Contenido de Macro y Micronutrientes en Hojas de Vid de las Variedades n b Sauvignon y Syrah

	Cabernet Sauvignon	Syrah
Macronutrientes		
	%	
Nt	2.72±0.032 ^a	2.3±0.173 ^b
Fosforo	0.18±0.02 ^a	0.18±0.006 ^a
Potasio	1.28±0.015 ^b	1.35±0.021 ^a
Calcio	1.68±0.01 ^a	1.59±0.01 ^b
Magnesio	0.23±0.02 ^a	0.21±0.023 ^b
Sodio	0.0005±0.000 ^a	0.0006±0.001 ^a
Micronutrientes		
	mg Kg ⁻¹	
Cobre	5±0.38 ^a	6±1 ^a
Hierro	188±3.78 ^a	166±2.30 ^a
Manganeso	402±2.51 ^a	248.5±2.78 ^b
Zinc	21.6±0.81 ^a	16±1.52 ^b

¹Letras diferentes indican diferencia estadística por la prueba tukey (p < 0,05). El valor representa la media de 3 repeticiones y su desviación estándar

Tabla 2.- Parámetros químicos de calidad grados brix, ph y acidez total.

	pH	°Bx	AT
Cabernet	4.03 ±0.20a	25.16 ± 0.31b	3.30 ±0.17a
Syrah	3.60 ± 0.15b	27.33 ± 0.12a	3.33± 0.06a

¹Letras diferentes indican diferencia estadística por la prueba tukey (p < 0,05)
El valor representa la media de 3 repeticiones y su desviación estándar

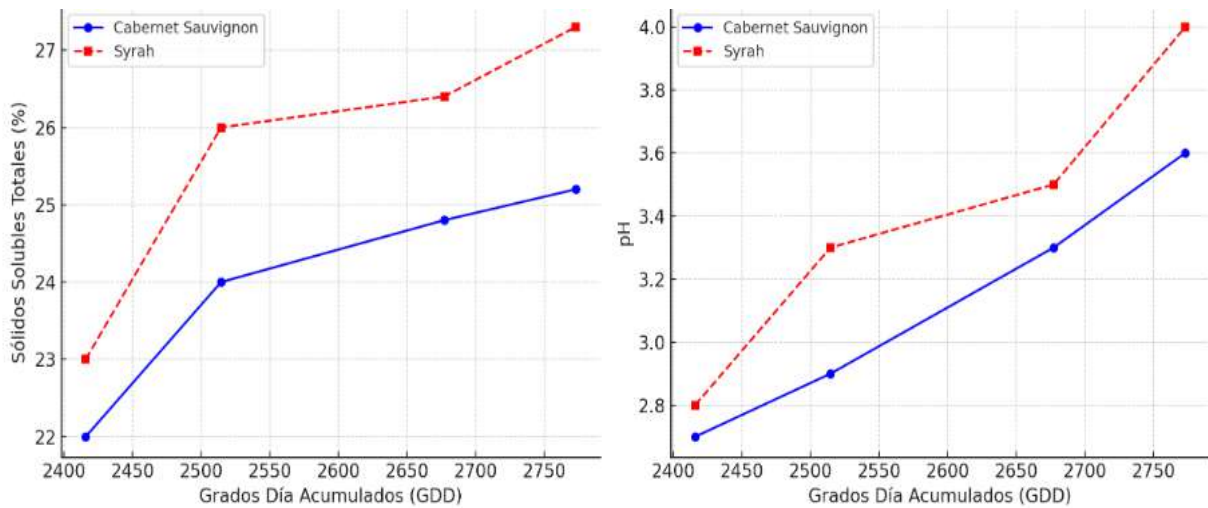
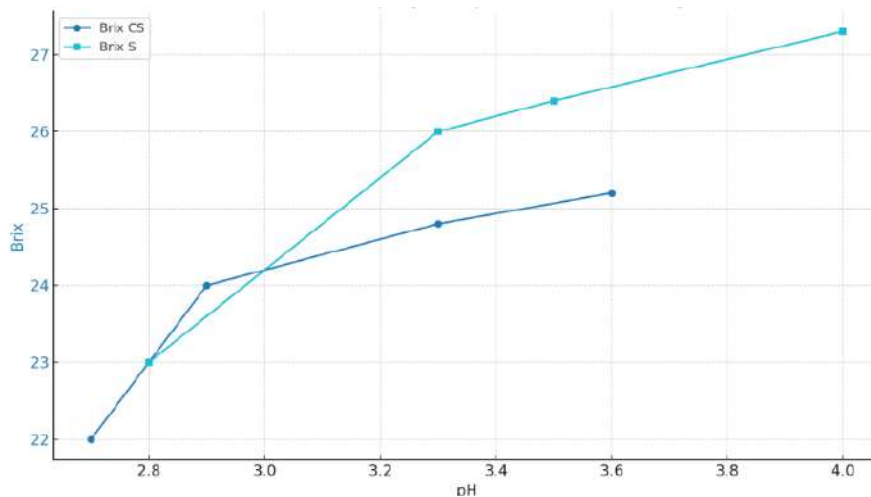
En la figura 3, podemos observar como la concentración de los sólidos solubles totales (SST) mostró un aumento durante el periodo de maduración de las uvas en el viñedo. La concentración de SST fue menor al inicio, con valores de 22 % en Cabernet Sauvignon y 23 % en Syrah a 2415.87 GDD. Conforme avanzó la acumulación de GDD, la concentración de SST aumentó de manera progresiva. A partir de los 2677.24 GDD, los valores de SST se estabilizaron

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21
alrededor de 25.2 % en Cabernet Sauvignon y 27.3 % en Syrah. La concentración más elevada de SST se presentó en Syrah con 27.3 %, mientras que la concentración más alta para Cabernet Sauvignon al final del periodo de medición fue de 25.2%.

El pH mostró un aumento progresivo a lo largo del período de maduración en el viñedo Sauz (Fig. 3). En las primeras etapas, cuando los Grados Día Acumulados (GDD) eran menores a 2500, el pH se mantuvo en valores relativamente bajos (2.7 - 2.9 en Cabernet Sauvignon y 2.8 - 3.3 en Syrah). A medida que la acumulación de GDD avanzó, el pH aumentó de manera progresiva. Al superar los 2600 GDD, el pH alcanzó valores de 3.3 en Cabernet Sauvignon y 3.5 en Syrah. Finalmente, en los últimos registros, cuando los GDD superaron 2773, el pH se estabilizó en 3.6 para Cabernet Sauvignon y 4.0 para Syrah. Estos valores reflejan el proceso natural de maduración de la uva, donde la acidez tiende a disminuir y el pH aumenta conforme la fruta se acerca a su madurez óptima. Syrah presentó valores de pH más elevados en comparación con Cabernet Sauvignon en todas las etapas del muestreo.

El periodo de maduración de la uva inicia con un aumento en el tamaño del fruto, impulsado por una rápida acumulación de solutos, especialmente un incremento en la concentración de ácidos orgánicos (Crespo et al., 2018). El incremento de los sólidos solubles totales SST en la uva comienza después del envero, etapa que marca el inicio en la maduración de la uva. Durante este periodo, los azúcares se acumulan de manera progresiva reflejados en el aumento de (SST) mientras que la concentración de ácidos orgánicos (AT) disminuye de forma simultánea (Ferrer et al., 2018; Godoy et al., 2025).

El pH del mosto de la uva mostró un aumento exponencial con relación a los SST para ambas variedades (Fig 4). Syrah (S) muestra valores más altos de °Brix y pH en cada punto de medición en comparación con Cabernet Sauvignon (CS), esta mostró valores de °Brix que oscilan entre 23 y 27.3, mientras que el pH varía de 2.8 a 4.0. Esto coincide con Macías, 2022, quien menciona que, bajo condiciones de temperatura más cálidas, se propicia la disminución de los ácidos, el aumento en el pH y prolonga la fase de incorporación de azúcares en las uvas.

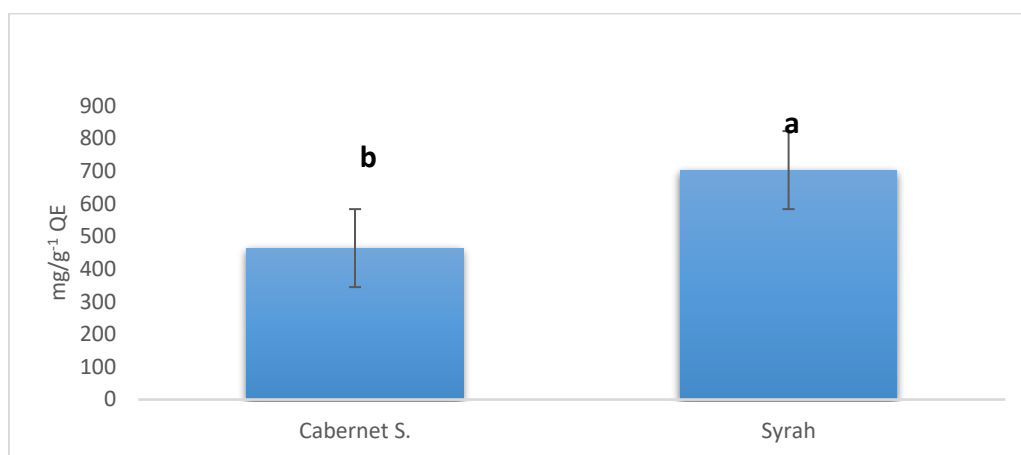
Figura 3. Relación de SST y pH vs GDD para Cabernet Sauvignon y Syrah en el Sauz**Figura 4.** Relación entre el pH y los SST para Cabernet Sauvignon y Syrah

2.4. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son esenciales en la estructura, color y potencial antioxidante del vino (El Rayess et al., 2024). El contenido de compuestos fenólicos se muestra en la figura 5, en la cual se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variedades evaluadas. La concentración de polifenoles con Syrah registrando 704 mg/L y Cabernet Sauvignon 465 mg/L. Según estudios previos, los valores típicos en mostos de uva tinta oscilan entre 200 y 800 mg/L

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21 (Kennedy, 2008), lo que indica que Syrah se encuentra en el extremo alto del rango y Cabernet Sauvignon en un nivel intermedio.

Figura 5. Determinación del contenido fenólico. El valor representa la media de 3 repeticiones y sus barras de error estándar. Letras diferentes indican diferencia estadística por la prueba tukey ($p < 0,05$).



El estrés térmico e hídrico pueden haber afectado la composición del mosto, promoviendo la acumulación de polifenoles y un pH más alto en la Syrah. En un estudio realizado en Uva Syrah donde evaluaron el estrés térmico e hídrico, se observó una mayor concentración de fenoles, sugiriendo que la acumulación de los mismos es consecuencia de estos factores (Macías, 2022).

Los resultados sugieren que Syrah presenta una mayor concentración de azúcares y polifenoles en comparación con Cabernet Sauvignon, lo que podría traducirse en vinos con mayor graduación alcohólica y estructura. Sin embargo, el pH elevado en Syrah puede representar un reto en la estabilidad del vino. Por otro lado, la acidez total baja en ambas variedades podría afectar la frescura del vino final.

Conclusiones

Los resultados indicaron un creciente incremento de temperatura siendo el mes de Julio el de mayor aumento de evapotranspiración, siendo la variedad Syrah la de mayor requerimiento hídrico y mayor contenido de compuestos fenólicos y SS. La variedad Cabernet Sauvignon presentó el mayor contenido de macro y microelementos un pH más alto por lo tanto una uva

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21 más acida. Por lo que el Cambio climático incide en altas temperaturas y baja humedad, afectando la rápida acumulación de azúcares y la degradación de la acidez alterando los procesos fisiológicos y la calidad de la uva y por consiguiente del vino. De la misma manera el estrés térmico e hídrico pueden afectar la composición del mosto, promoviendo la acumulación de polifenoles. Dicha información nos permite realizar un manejo agronómico y enológico adecuado que permita la selección de nuevos viñedos y mejorar zonas de cultivo en los ya establecidos.

Referencias

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.avwatermaster.org/filingdocs/195/70653/172618e_5xAGWAx8.pdf
- Bloom, M., & Brundin, L. (2023). Klimatförändringens påverkan på vitikulturen i Priorat, Spanien: Vinaktörers upplevelser och klimatanpassningsstrategier [Tesis de licenciatura, Universidad de Gotemburgo]. GUPEA. <https://hdl.handle.net/2077/78213>
- Cabello-Pasini, A., Macías-Carranza, V., & Mejía-Trejo, A. (2017). Efecto del mesoclima en la maduración de uva Nebbiolo (*Vitis vinifera*) en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. *Agrociencia*, 51(6), 617-633. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n6/1405-3195-agro-51-06-00617.pdf>
- Candar, S., Açıkbaz, B., Ekiz, M., Zobar, D., Korkutal, I., & Bahar, E. (2021). Influence of water scarcity on macronutrients contents in young leaves of wine grape cultivars. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 36(2), 104-115. <https://www.ctv-jve-journal.org/articles/ctv/pdf/2021/02/ctv20213602p104.pdf>
- Crespo, J., Rigou, P., Romero, V., García, M., Arroyo, T., & Cabellos, J. M. (2018). Effect of seasonal climate fluctuations on the evolution of glycoconjugates during the ripening period of grapevine cv. Muscat à petits grains blancs berries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5), 1803-812. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8656>
- Drappier, J., Thibon, C., Rabot, A., & Geny-Denis, L. (2019). Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 14-30. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355776>
- Ferrer, M., Echeverría, G., Pereyra, G., Salvarrey, J., Arrillaga, L., & Fourment, M. (2018). Variación del clima de un Terroir y su consecuencia sobre la respuesta de la vid. In *E3S Web of Conferences*, 50, 01002, 6. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001002>

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21

El Rayess, Y., Nehme, N., Azzi-Achkouty, S., & Julien, S. G. (2024). Wine Phenolic Compounds: Chemistry, Functionality and Health Benefits. *Antioxidants*, 13(11), 1312. <https://doi.org/10.3390/antiox13111312>

Godoy, C. A., & Irigoyen, A. (2025). Adaptación de variedades tintas de vid a la región Mar y Sierras (provincia de Buenos Aires, Argentina) bajo un escenario de cambio climático. *Agronomía e Ambiente*, 44(2), 35-48. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/268/252>

Gutiérrez-Gamboa, G., Díaz-Galvéz, I., Verdugo-Vásquez, N., & Moreno-Simunovic, Y. (2019). Leaf-to-fruit ratios in *Vitis vinifera* L. cv. “Sauvignon blanc”, “carmenère”, “cabernet Sauvignon”, and “syrah” growing in maule valley (Chile): Influence on yield and fruit composition. *Agriculture*, 9(8), 176. <https://doi.org/10.3390/agriculture9080176>

Jackson, R. S. (2020). *Wine science: Principles and applications* (5th ed.). Academic Press. 1014 p. ISBN 978-0-12-816118-0

Jorqueta-Fontena, E., & Orrego-Verdugo, R. (2010). Impacto del calentamiento global en la fenología de una variedad de vid cultivada en el Sur de Chile. *Agrociencia*, 44(4), 427-435. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952010000400003&script=sci_arttext

Kennedy, J. A. (2008). Grape and wine phenolics: Observations and recent findings. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(2), 77-90. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202008000200001>

Larrauri, A., Núñez, O., Hernandez-Cassou, S., & Saurina, J. (2017). Determination of polyphenols in white wines by liquid chromatography: Application to the characterization of alella (Catalonia, Spain) wines using chemometric methods. *Journal of AOAC International*, 100(2), 323-329. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.16-0407>

Lasanta, T., Baroja-Sáenz, C., Cortijos-López, M., Nadal-Romero, E., Martín, I., & García-Escudero, E. (2022). Estrategias de adaptación al cambio climático en el viñedo de la cuenca mediterránea: el caso del Rioja. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1), 133-156. <https://doi.org/10.18172/cig.5062>

Iland, P., Dry, P., Proffitt, T., & Tyerman, S. (2011). The grapevine: From the science to the practice of growing vines for wine. Patrick Iland Wine Promotions. 2nd Edition. 429p. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122672/records/67122688e08599c663a45106>

Macías Carranza, V. A. (2022). Efecto del clima sobre las propiedades fisicoquímicas de la uva para vino en Baja California, México [Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/9119/1/ENS094788.pdf>

Moreno-Olivares, D., Paladines-Quezada, D. F., Gimenez-Bañón, M. J., Cebrián-Pérez, A., Bleda-Sánchez, J. A., Fernández-Fernandez, J. I., & Gil-Muñoz, R. (2023). Nuevas variedades

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21

descendientes de Monastrell adaptadas al cambio climático. In *BIO Web of Conferences* 56, 01036, 5. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235601036>

Naulleau, A., Gary, C., Prévot, L., & Hossard, L. (2021). Evaluación de estrategias de adaptación al cambio climático en la producción de vid: una revisión sistemática. *Frontiers in Plant Science*, 11, 607859. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607859>

Prieto, J. A., Bustos Morgani, M., Gómez Tournier, M., Gallo, A., Fanzone, M., Sari, S., & Pérez Peña, J. (2024). Climate change adaptations of Argentine viticulture. In G. Gutiérrez Gamboa & M. Fourment (Eds.), *Latin American Viticulture Adaptation to Climate Change: Perspectives and Challenges of Viticulture Facing up to Global Warming Springer Cham*. 149–169 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51325-1_10

Quénol, H., Neethling, E., Barbeau, G., Tissot, C., Rouan, M., Le Coq, C., & Le Roux, R. (2023). Adapting viticulture to climate change: Guidance manual to support winegrowers' decision-making. HAL Open Science. 40 p. <https://hal.science/hal-04210610>

Quezada, C., Soriano, M. A., Díaz, J., Merino, R., Chandía, A., Campos, J., & Sandoval, M. (2014). Influence of soil physical properties on grapevine yield and maturity components in an ultic palexeralf soils, Central-Southern, Chile. *Open Journal of soil science*, 4(04), 127. <https://doi.org/10.4236/ojss.2014.44016>

Ramos, M. C., & Romero, M. P. (2016). Effects of soil characteristics and leaf thinning on micronutrient uptake and redistribution in 'Cabernet Sauvignon'. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 55(3), 113-120. <https://doi.org/10.5073/vitis.2016.55.113-120>

Romero, P., Gil-Munoz, R., del Amor, F. M., Valdés, E., Fernández, J. I., & Martínez-Cutillas, A. (2013). Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agricultural Water Management*, 121, 85-101. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.01.007>

Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2021). *Handbook of Enology*, volume 2: The chemistry of wine stabilization and treatments. John Wiley & Sons Ltd. 441 p. <https://doi.org/10.1002/9781119584681>

Ruiz-García, L., Fernández-Fernández, J. I., Martínez-Mora, C., Moreno-Olivares, J. D., Giménez-Bañón, M. J., Fernández-López, D. J., ... & Gil-Muñoz, R. (2023). Characterization of New Grapevine Varieties Cross-Bred from Monastrell, Authorized for Winemaking in the Warm Region of Murcia (South-Eastern Spain). *Horticulturae*, 9(7), 760. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070760>

Santander Racines, A. B., Rodríguez Santos, E. M., Toapanta Custode, C. D., & Suárez Carrillo, R. A. (2022). La *Vitis vinifera*, un caso de estudio en el viñedo Chaupi Estancia, provincia de Pichincha. *Siembra*, 9(2), 3731. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3731>

Y.N. Moncayo Najeral et al// Adaptación y cambio climático en la calidad y contenido fenólico de la uva.... 4-21

Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., & Moriondo, M. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>

SAS Institute Inc. (2009). *SAS/STAT® 9.2 User's Guide*. SAS Institute Inc.

Valenzuela Solano, C., Ruiz Corral, J. A., Ramírez Ojeda, G., & Hernández Martínez, R. (2014). Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(10), 2047-2059. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5nsp10/2007-0934-remexca-5-spe10-2047-en.pdf>

Van Leeuwen, C., Roby, J. P., & De Rességuier, L. (2018). Soil-related terroir factors: A review. *OENO one*, 52(2), 173-188. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.2.2208>

Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., ... y Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>

Van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

Los autores declaran que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La *Revista de la Universidad del Zulia* declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia Creative Commons

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional



REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 31 de mayo de 1947

UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 11 de septiembre de 1891