

PROPIEDADES DEL SUELO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD SENSORIAL DE LOS VINOS MOSCATEL DE AREQUIPA, PERÚ

Liz Y. Beltran-Conneri¹, Franklin N. Humalla-Condori¹ y Luis A.B. Zegarrra-Aymara¹

RESUMEN

La vitivinicultura del sur del Perú presenta una larga tradición; sin embargo, el comportamiento enológico del vino Moscatel producido en Arequipa ha sido poco estudiado. Se evaluaron las diferencias en la composición química y el perfil sensorial del vino de *Vitis vinifera* L. var. Moscatel producido en cuatro zonas vitivinícolas de Arequipa (La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire). El estudio se desarrolló entre julio de 2023 y septiembre de 2024 e incluyó vinificación experimental bajo condiciones controladas, análisis químicos de los vinos, evaluación sensorial y caracterización edáfica. Los datos se analizaron mediante estadística univariada, análisis de correlación de Pearson y métodos multivariados. El análisis de correlación evidenció una asociación positiva del contenido de potasio en el vino con el CaCO_3 y la conductividad eléctrica del suelo, así como entre las antocianinas y el SO_2 . Desde el punto de vista enológico, los vinos de Irrigación Majes presentaron las mejores valoraciones sensoriales, asociadas a mayores concentraciones de antocianinas. En contraste, los vinos de Corire se diferenciaron por mayores concentraciones de potasio. Las zonas de La Joya y San Isidro mostraron perfiles sensoriales similares, y en general todos los vinos presentaron una calidad organoléptica favorable. Los resultados confirman diferencias relevantes en la calidad química y sensorial de los vinos Moscatel de Arequipa que aportan información útil para la zonificación vitivinícola y la valorización del origen y la calidad del vino.

Palabras clave adicionales: Análisis de componentes principales, antocianinas, potasio, vid

ABSTRACT

Soil properties and the chemical composition and sensory quality of Moscatel wines from Arequipa, Peru

Viticulture in southern Peru has a long tradition; however, the oenological characteristics of Moscatel wine produced in Arequipa have been scarcely studied. Differences in the chemical composition and sensory profile of wine produced from *Vitis vinifera* L. var. Moscatel grapes in four wine-growing areas of Arequipa (La Joya, San Isidro, Majes Irrigation, and Corire) were evaluated. The study was conducted between July 2023 and September 2024 and included experimental vinification under controlled conditions, physicochemical analysis of the wines, sensory evaluation, and soil characterization. The data were analyzed using univariate statistics, Pearson correlation analysis, and multivariate methods. Correlation analysis revealed a positive association between potassium content in the wine and soil CaCO_3 and electrical conductivity, as well as between anthocyanins and SO_2 . From an oenological perspective, the wines from Irrigación Majes exhibited the best sensory evaluations, associated with higher anthocyanin concentrations. In contrast, the wines from Corire were distinguished by higher potassium concentrations. La Joya and San Isidro showed similar sensory profiles, and overall, all the wines presented favorable organoleptic quality. The results confirm significant differences in the chemical and sensory quality of Moscatel wines from Arequipa that provide useful information for viticultural zoning and the valorization of the wine's origin and quality.

Additional Keywords: Anthocyanins, grapevine, potassium, principal component analysis

Editor Asociado: Dra. Georgina Vargas-Simón

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de la vid se ve afectado por las propiedades del suelo,

particularmente la textura (Aleixandre *et al.*, 2013); Hun *et al.*, 2026). De manera general, los suelos arenosos favorecen una maduración más temprana de la vid, lo que da lugar a vinos

Recibido: Marzo 16, 2025

Aceptado: Agosto 10, 2026

¹Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Paucarpata, Arequipa, Perú.

e-mail: lbeltranc@unsa.edu.pe; fhumalla@unsa.edu.pe; lzegarraa@unsa.edu.pe (autor de correspondencia)

aromáticos y con menor carga tánica (Bramley y Hamilton, 2007). En contraste, los suelos arcillosos retienen una mayor cantidad de agua y nutrientes, propiciando ciclos de maduración más prolongados y una mayor acumulación de polifenoles (Löhnertz *et al.*, 2008).

La calidad del vino está determinada por su composición química, la cual refleja tanto las condiciones de cultivo de la vid como las prácticas enológicas empleadas. Entre estos, la concentración de alcohol constituye un indicador fundamental del grado de madurez de la uva y del equilibrio entre azúcares y acidez, influyendo directamente en la percepción sensorial y la estabilidad del vino. La acidez total y la acidez volátil son determinantes en la frescura y estabilidad microbiológica del vino; valores inadecuados pueden afectar la armonía gustativa y acelerar procesos de deterioro durante la conservación (Ribéreau *et al.*, 2006). Por su parte, las antocianinas, pigmentos fenólicos responsables de la coloración, juegan un papel clave en la apariencia y capacidad antioxidante de los vinos, siendo su concentración dependiente de factores edafoclimáticos y del manejo del viñedo (Salama *et al.*, 2023; Dou *et al.*, 2024).

Elementos minerales como el potasio influyen en el pH y en el equilibrio ácido-base del vino, participando en la precipitación de sales y afectando la acidez del mosto y su composición (Marcuzzo *et al.*, 2021). Por su parte, el dióxido de azufre (SO₂), utilizado como agente antioxidante y antimicrobiano, es esencial para la conservación de las características organolépticas (Waterhouse *et al.*, 2024). La interacción entre estos parámetros define el perfil sensorial final y la calidad global del vino, reflejando la influencia conjunta del suelo, el clima y las prácticas enológicas.

En el departamento de Arequipa se cultivan aproximadamente 1356 hectáreas de vid, de las cuales 416 hectáreas están destinadas a la producción de vino. Dentro de este total, la var. Moscatel ocupa cerca de 346 hectáreas (MIDAGRI, 2008). No obstante, son limitados los estudios relacionados con la viticultura y el potencial enológico de la var. Moscatel en las principales zonas vitivinícolas de la región. En este contexto, el objetivo fue evaluar las diferencias en la composición química y la calidad sensorial del vino de *V. vinifera* L. var. Moscatel

producido en cuatro localidades de Arequipa (La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire), con el fin de generar información que contribuya a la valorización y mejor aprovechamiento de esta variedad en la vitivinicultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó entre julio del 2023 y septiembre del 2024 en cuatro localidades representativas del departamento de Arequipa (Perú): La Joya y San Isidro (distrito de La Joya, provincia de Arequipa), Irrigación Majes (distrito de Majes, provincia de Caylloma) y Corire (distrito de Uraca, provincia de Castilla). Las coordenadas y altitudes respectivas fueron: La Joya (16° 25' 27" S, 71°49'14" W; 1626 msnm), San Isidro (16°27'56" S, 71°56'03" W; 1660 msnm), Irrigación Majes (16°21'30" S, 72°11'260" W; 1440 msnm;) y Corire (16°04'33" S, 72°29'33" W; 464 msnm).

El clima predominante en estas zonas, situadas por debajo de los 2000 msnm, corresponde a un tipo árido templado, caracterizado por baja humedad a lo largo del año (Castro *et al.*, 2021). Corire se ubica en un valle interandino asociado al río Majes, mientras que La Joya, San Isidro e Irrigación Majes corresponden a planicies áridas irrigadas, cuyas diferencias fisiográficas influyen en el microclima de las zonas de estudio. Se destaca que en la zona de Corire ocurre un fenómeno muy atípico de inversión térmica regional influenciada por la Corriente de Humbolt, lo que permite que esta zona tenga similar temperatura que los otros sitios con altitudes muy superiores. El Cuadro 1 muestra las temperatura y humedad registradas entre julio del 2023 y marzo del 2024 para las cuatro zonas.

Material vegetal y condiciones agronómicas.

Se emplearon plantas de *V. vinifera* L. var. Moscatel de entre 12 y 14 años de edad, injertadas sobre 'Salt Creek', cultivadas en las cuatro localidades vitícolas del departamento de Arequipa. Todas las parcelas presentaron sistema de conducción en espaldera, siendo simple en La Joya y Corire, y en doble T en la Irrigación Majes y San Isidro. Las superficies de las parcelas fueron de 2134, 5150, 4427 y 1704 m², respectivamente.

La densidad de plantación varió entre localidades, con distancias entre plantas de 1,5 m en La Joya, 1,2 m en San Isidro, 2,0 m en

Beltran et al. El suelo y la composición y calidad del vino moscatel de Arequipa, Perú

Irrigación Majes y 1,3 m en Corire, y distancias entre hileras de 2,50 m en La Joya y San Isidro, 3,0 m en Irrigación Majes y 2,20 m en Corire.

El manejo nutricional se basó en programas de fertilización diferenciados por localidad, aplicándose las siguientes formulaciones N-P-K-Mg: 90-100-150-50 en La Joya y San Isidro, 120-

180-200-70 en Irrigación Majes y 80-100-120-40 en Corire. Estas prácticas correspondieron al manejo agronómico habitual de cada viñedo y no constituyeron un factor experimental del estudio, por lo que se mantuvieron sin modificaciones durante el periodo de evaluación.

Cuadro 1. Temperatura (T) y humedad relativa (HR) en las zonas de La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire, Arequipa, Perú.

Zona	T. Max (°C)	T. Min (°C)	T. Media (°C)	HR media (%)
La Joya	28,97	11,39	20,18	60,59
San Isidro	29,14	12,89	21,01	62,53
Irrigación Majes	27,53	13,39	20,46	53,50
Corire	28,87	13,18	21,03	74,90

El riego se efectuó por gravedad en las localidades de La Joya y San Isidro, mientras que en Irrigación Majes y Corire se empleó riego por goteo. El sistema de riego tampoco constituyó un factor experimental y se mantuvo conforme a las prácticas habituales de cada viñedo. En consecuencia, las diferencias observadas entre localidades reflejan las condiciones reales de producción de cada zona vitivinícola, aunque es conocido que este factor de manejo podría influir en la calidad de la uva y en algunas características del mosto y del vino.

Características del suelo de las áreas en estudio. Para la determinación de las características del suelo, se realizaron tres calicatas de aproximadamente un metro de profundidad en cada una de las zonas de estudio. En cada calicata se obtuvieron tres submuestras correspondientes a los estratos de 0-30, 30-60 y 60-100 cm de profundidad. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Químicos y Servicios, Empresa Individual de Responsabilidad Limitada (EIRL) (Arequipa, Perú).

La textura del suelo se determinó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos. El carbonato de calcio se cuantificó por neutralización ácida con hidróxido de sodio 0,5 N. El pH se evaluó con un potenciómetro HANNA HI 8424 y la conductividad eléctrica se midió con un conductímetro HANNA HI 9033.

La materia orgánica se determinó mediante el

método de Walkley y Black, y el nitrógeno total por el método de Kjeldahl. El fósforo disponible se analizó mediante el método de Olsen modificado, mientras que el potasio se evaluó con un fotómetro de llama tras la extracción con acetato de amonio (AOAC, 2023).

Vinificación. La vinificación se realizó bajo un protocolo estandarizado para todas las localidades, con tres repeticiones por zona y 15 plantas por repetición. Los racimos fueron cosechados a una madurez tecnológica aproximada de 22 °Brix y en adecuado estado sanitario, y transportados inmediatamente a bodega. Las uvas fueron estrujadas y despalilladas, seguidas de una maceración enzimática y prensado suave, obteniéndose un rendimiento de mosto cercano al 60 %. Durante el despalillado se adicionaron metabisulfito de potasio y ácido L-ascórbico (Aromax, 10 g·hL⁻¹), junto con un preparado enzimático a base de pectinasas, celulasas y hemicelulasas (Endozym Contac Pelliculaire, 4 g·hL⁻¹). El mosto fue inoculado con una cepa seleccionada de *Saccharomyces cerevisiae* (Fermol Moscatel, 25 g·hL⁻¹) y un nutriente para levaduras (Fermocel, 60 g·hL⁻¹). La fermentación alcohólica se llevó a cabo en tanques de acero inoxidable a temperatura controlada (15,5-17,5 °C). Tras su finalización, se realizaron trasiegos y clarificación, seguidos de protección antioxidante y antimicrobiana (Microcid, 50 g·hL⁻¹), estabilización tartárica mediante carboximetilcelulosa (Newcel, 100 g·hL⁻¹) y afinamiento con goma

arábiga (Arabinol, 100 g·hL⁻¹). Finalmente, el vino fue filtrado y colocado en botellas de vidrio oscuro con tapón de corcho.

Análisis químico de los vinos. Elaborados los vinos, se obtuvieron muestras representativas de las tres repeticiones por cada una de las cuatro zonas de estudio (n=12), las cuales fueron enviadas a dos laboratorios especializados para su evaluación química.

En el Laboratorio LABINVSEV de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa se determinaron los siguientes parámetros: el grado alcohólico, mediante el método NTN 210.011; la acidez volátil, de acuerdo con el método NTN 210.017 y las antocianinas monoméricas se determinaron mediante el método del pH diferencial descrito por Giusti y Wrolstad (2001). Las absorbancias se registraron a 510 y 700 nm en un espectrofotómetro UV-Visible utilizando cubetas de cuarzo de 1 cm de recorrido óptico. Por su parte, en el laboratorio Bhios Lab, se realizaron los análisis de potasio, según el método oficial AOAC 985.35, y de anhídrido sulfuroso, conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 212.015:2009.

Evaluación sensorial de los vinos. Las botellas correspondientes a las cuatro zonas fueron almacenadas durante 90 días y posteriormente codificadas con números aleatorios de tres dígitos para evitar sesgos durante la cata (Meilgaard *et al.*, 2007). Para la evaluación sensorial se seleccionó una botella de cada repetición y zona de estudio, por lo que se evaluaron 12 botellas en total (4 zonas × 3 repeticiones).

El panel de cata estuvo conformado por tres profesionales vinculados a la producción y control de calidad en bodegas vitivinícolas del departamento de Arequipa. La degustación se realizó utilizando copas tipo AFNOR (Asociación Francesa de Normalización), y los resultados fueron registrados en una ficha de evaluación sensorial elaborada conforme a los parámetros establecidos por la OIV (2022). El vino de cada botella seleccionada fue servido a los tres catadores, quienes evaluaron de manera independiente la misma muestra correspondiente a cada repetición. Se evaluaron los atributos visuales de limpidez y atributos olfativos de franqueza, intensidad positiva y calidad; atributos gustativos de franqueza, intensidad positiva, persistencia armoniosa y calidad, además de la

armonía (juicio global). La evaluación consideró la variabilidad interna de los tratamientos y la apreciación sensorial representativa de cada condición evaluada.

Análisis estadístico. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro localidades y tres repeticiones. Inicialmente, se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Bartlett. Las variables que cumplieron ambos supuestos fueron analizadas mediante ANOVA y prueba de medias de Tukey ($p \leq 0,05$). En el caso de las variables que no cumplieron dichos supuestos, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis y comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn ($p \leq 0,05$).

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las características del vino, y un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando las variables físicas y químicas del suelo, así como las variables químicas del vino. Los datos de la evaluación organoléptica fueron analizados mediante estadística multivariada. Para identificar patrones de similitud entre las zonas de estudio y los atributos sensoriales, se elaboró un mapa de calor con agrupamiento jerárquico bidireccional, a partir de una matriz de datos ordinales (escala 1-5, donde 1 representó la menor intensidad o valoración del atributo y 5 la mayor). Se empleó la distancia de Gower y el método UPGMA. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R versión 4.4.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas de los suelos y vinos. La zona de Corire presentó la mayor concentración de potasio en el vino (1959,37 mg·L⁻¹), siendo significativamente diferente del resto de las zonas evaluadas ($p \leq 0,05$) (Cuadro 2). De manera concordante, el contenido promedio de potasio disponible en el suelo (353,33 mg·L⁻¹) en esta localidad tendió a superar el valor observado en las demás zonas. La disponibilidad de potasio en el suelo y su posterior acumulación en las bayas y en el vino puede estar asociada a lo descrito por Rogiers *et al.* (2017) y Martínez *et al.* (2023), quienes señalaron que el potasio es un macronutriente altamente móvil en la vid, absorbido por las raíces desde la solución

del suelo y trasladado hacia los órganos aéreos y el fruto, y por Villette *et al.* (2020), quienes destacaron que una adecuada nutrición potásica incide directamente en la composición de las bayas y en la calidad final del mosto y del vino. Este comportamiento podría estar asociado a las características del suelo de Corire, que presentó el mayor promedio de CaCO_3 (5,22 %), condición típica de suelos calcáreos; así mismo, esta localidad mostró el mayor promedio de conductividad eléctrica del suelo ($1,39 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), lo que indica una mayor concentración de sales

solubles en la solución.

La zona de Corire también presentó el mayor grado alcohólico del vino (17,46 % v/v), significativamente diferente respecto a las demás zonas ($p \leq 0,05$). Este comportamiento podría estar asociado a la mayor disponibilidad y acumulación de potasio, debido a que este nutriente favorece el transporte de azúcares hacia la baya, los cuales constituyen el principal sustrato para la fermentación alcohólica y, por tanto, influyen en el grado alcohólico final del vino (Rogiers *et al.*, 2017; Keller, 2020).

Cuadro 2. Análisis físico químico de suelos y vinos en las zonas de La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire, Arequipa, Perú.

Zona	Suelo							Vino				
	Textura	CaCO_3	CE	MO	N	P	K	GL	Av	An	Kv	As
La Joya	Fa	0,03 ab	0,12 b	0,22 ns	0,03 ns	15,87 ns	253,33 ns	15,39 ab	260,93 ns	12,94 b	1409,47 b	0,15 b
San Isidro	Fa	0,00 b	0,22 ab	0,23 ns	0,00 ns	21,6 ns	210,0 ns	12,63 b	241,82 ns	16,53 ab	1537,86 b	0,24 a
Irrigación Majes	a	0,17 ab	0,28 ab	0,32 ns	0,02 ns	12,67 ns	230,00 ns	16,80 ab	300,08 ns	19,98 a	1426,53 b	0,27 a
Corire	Fa	5,22 a	1,39 a	0,23 ns	0,01 ns	19,26 ns	353,33 ns	17,46 a	211,07 ns	13,25 b	1959,37 a	0,20 ab

F: franco; a: arenoso; CaCO_3 : carbonato de calcio (%); CE: conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$); MO: materia orgánica (%); N: nitrógeno total (%); P: fósforo disponible ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); K: potasio disponible ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Los valores corresponden al promedio de las tres calicatas evaluadas en cada zona y profundidad. GL: grados de alcohol (% v/v); Av: acidez volátil ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); An: antocianinas ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) de cianidina-3-glucósido (C3G); Kv: potasio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); As: anhídrido sulfuroso ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). En cada columna, valores que no comparten alguna letra en común son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Tukey o Dunn ($p \leq 0,05$).

El suelo y la composición química del vino.

El potasio en el vino presentó correlaciones altamente significativas con el contenido de carbonato de calcio del suelo (CaCO_3) ($0,84^{***}$) y significativa con la conductividad eléctrica ($0,68^*$) (Figura 1), lo que indicaría que estos parámetros pueden promover la absorción y traslocación del potasio desde el suelo hacia el fruto y finalmente al vino, en concordancia con lo reportado por Martínez *et al.* (2023), quienes observaron una relación positiva entre el potasio extraíble del suelo y su concentración en el mosto y vino.

Por su parte, las antocianinas mostraron una correlación alta con el anhídrido sulfuroso total ($r=0,83$; $p \leq 0,001$) (Figura 1), a pesar de que las dosis de SO_2 añadidas durante la vinificación fueron similares en todas las zonas, por lo que la correlación podría atribuirse a algún SO_2 generado diferencialmente por las levaduras. Es

decir, la relación observada respondería principalmente a diferencias en la composición fenólica de los vinos y no al manejo del anhídrido sulfuroso. Las antocianinas son los principales pigmentos responsables del color en los vinos tintos, y su concentración influye directamente en la intensidad, estabilidad cromática e interacción con otros compuestos fenólicos (Morata *et al.*, 2021). En este contexto, el SO_2 puede reaccionar de manera reversible con las antocianinas monoméricas mediante la formación de aductos bisulfito, afectando temporalmente la expresión del color según su concentración y el equilibrio con pigmentos más estables (Morata *et al.*, 2021). En concordancia con ello, la localidad Irrigación Majes presentó las mayores concentraciones de antocianinas ($19,98 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y de SO_2 total ($0,27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (Cuadro 2), lo que sugiere una mayor capacidad antioxidante y de estabilidad cromática del vino.

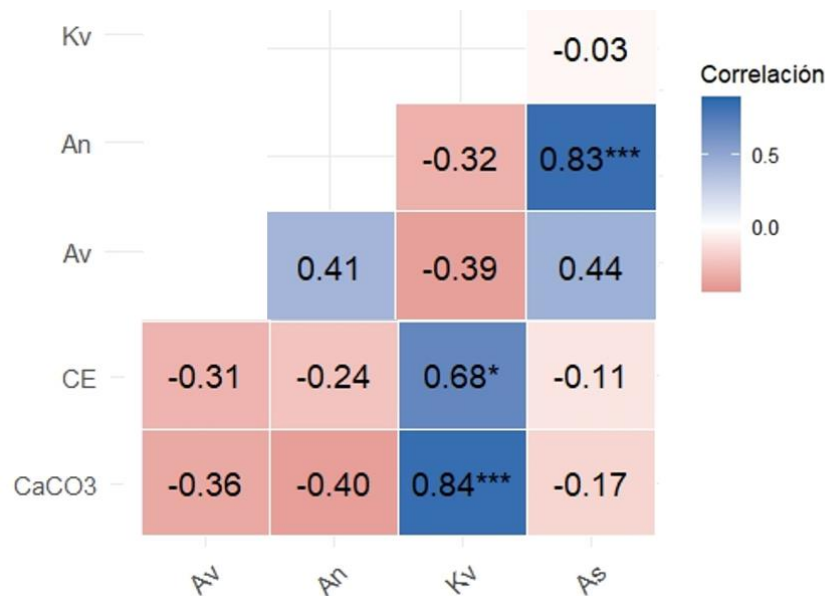


Figura 1. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson entre variables químicas del vino y el suelo en las zonas de La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire, Arequipa, Perú. As: anhídrido sulfuroso total; Kv: potasio; An: antocianinas; Av: acidez volátil; CE: conductividad eléctrica; CaCO₃: carbonato de calcio * y ***: $p \leq 0,05$ y $p \leq 0,001$ respectivamente.

El análisis de componentes principales permitió integrar de manera conjunta las variables cuantitativas de suelo y vino, explicando las dos primeras dimensiones el 60,4 % de la variabilidad total (Dimensión 1: 41,9 %; Dimensión 2: 18,5 %) (Figura 2). Si bien este porcentaje permitió identificar los principales gradientes de variación entre las localidades y las variables evaluadas, el 39,6 % restante de la variabilidad se distribuyó entre los componentes posteriores, por lo que la interpretación del ACP se centró en las dos primeras dimensiones al concentrar la mayor proporción de la información. La primera dimensión estuvo explicada principalmente por las variables asociadas a la composición mineral del suelo y al potasio en el vino, destacando CaCO₃ (20,04 %), CE (19,39 %), potasio en el vino (14,85 %) y potasio en el suelo (12,61 %).

La orientación similar de los vectores de CaCO₃, CE y potasio en suelo y vino (Figura 2) indicaría una asociación positiva entre la salinidad, el contenido de carbonatos y la disponibilidad de K⁺ y su acumulación en el vino.

Este patrón tendría relación con lo señalado por Martínez *et al.* (2023), quienes demostraron la traslocación del potasio desde el suelo hacia los órganos de la vid. En este eje, la ubicación de Corire en el cuadrante positivo confirmaría su asociación con suelos más ricos en potasio, lo que se corresponde con vinos de mayores concentraciones de este catión, tal como lo describen Villette *et al.* (2020).

La segunda dimensión estuvo explicada principalmente por el SO₂ total y las antocianinas, los cuales presentaron las mayores contribuciones a este componente (35,59 % y 30,65 %, respectivamente) (Figura 2), con aportes secundarios de la acidez volátil. La asociación positiva entre antocianinas y SO₂ total refuerza lo antes señalado sobre la relación entre la composición fenólica y la fracción total de anhídrido sulfuroso retenida en el vino, aun bajo condiciones de vinificación similares. La separación de la Irrigación Majes a lo largo de este eje refleja su mayor concentración de estos compuestos.

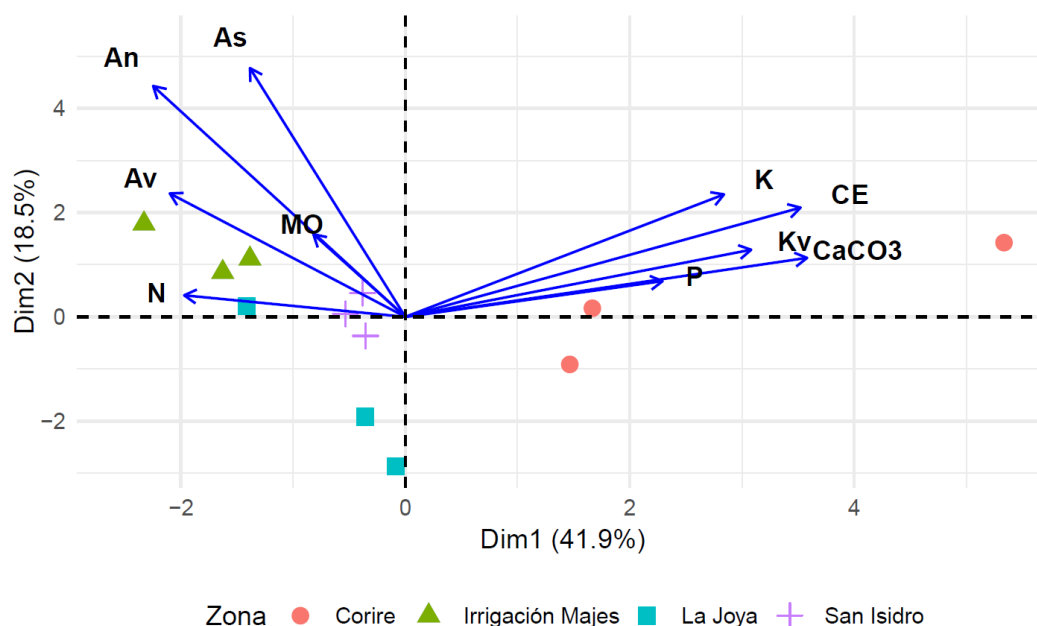


Figura 2. Análisis de componentes principales de variables cuantitativas de suelo y vino en las zonas de La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire, Arequipa, Perú. Análisis en vino. As: anhídrido sulfuroso total; Kv: potasio; An: antocianinas; Av: acidez volátil. Análisis en suelo. K: potasio; P: fosforo; N: nitrógeno; MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica; CaCO_3 : carbonato de calcio. Dim1: primera dimensión; Dim2: segunda dimensión.

El mapa de calor con agrupamiento jerárquico bidireccional evidenció patrones claros de similitud y diferenciación sensorial entre las zonas vitivinícolas evaluadas (Figura 3). El dendrograma mostró una mayor proximidad entre La Joya y San Isidro, lo que indica que los vinos Moscatel producidos en estas zonas comparten un perfil organoléptico global similar. En ambas zonas se registraron puntuaciones altas para atributos visuales, particularmente en aspecto, con una puntuación de 5. Asimismo, los atributos olfativos franqueza, intensidad positiva y calidad alcanzaron una puntuación de 4, mientras que los atributos gustativos relacionados con la persistencia armoniosa, calidad y armonía-juicio global obtuvieron una puntuación de 3.

Corire se separó de este grupo principalmente debido a menores valores en los atributos de olfato, intensidad positiva y calidad, con una puntuación de 3, lo que sugiere una menor expresión aromática del vino en comparación con La Joya y San Isidro. Si bien Tomasi *et al.* (2022) señalaron que las características del suelo, en particular el contenido de carbonatos, pueden influir en la acumulación de compuestos aromáticos y en los perfiles volátiles de uvas y

vinos, dicha tendencia no se evidenció en nuestros resultados. Esta diferenciación explica la ubicación de Corire en una rama distinta del dendrograma y refleja variaciones específicas en la percepción sensorial, sin constituir un perfil completamente independiente.

En contraste, la Irrigación Majes se distinguió claramente del resto de las zonas, mostrando la mayor puntuación en el atributo olfato franqueza (5), lo que indica una mayor nitidez y definición aromática del vino. Asimismo, presentó puntuaciones superiores al resto de las zonas en los atributos gusto calidad y armonía-juicio global (4).

Las diferencias sensoriales identificadas mediante el análisis de agrupamiento concuerdan con lo reportado por Villette *et al.* (2020), quienes indican que la nutrición mineral de la vid condiciona la composición y calidad del vino. En este sentido, el análisis de agrupamiento permitió discriminar de manera efectiva zonas con perfiles sensoriales semejantes y áreas con características diferenciadas, evidenciando la utilidad de los métodos multivariados para la evaluación integral de la calidad organoléptica del vino.

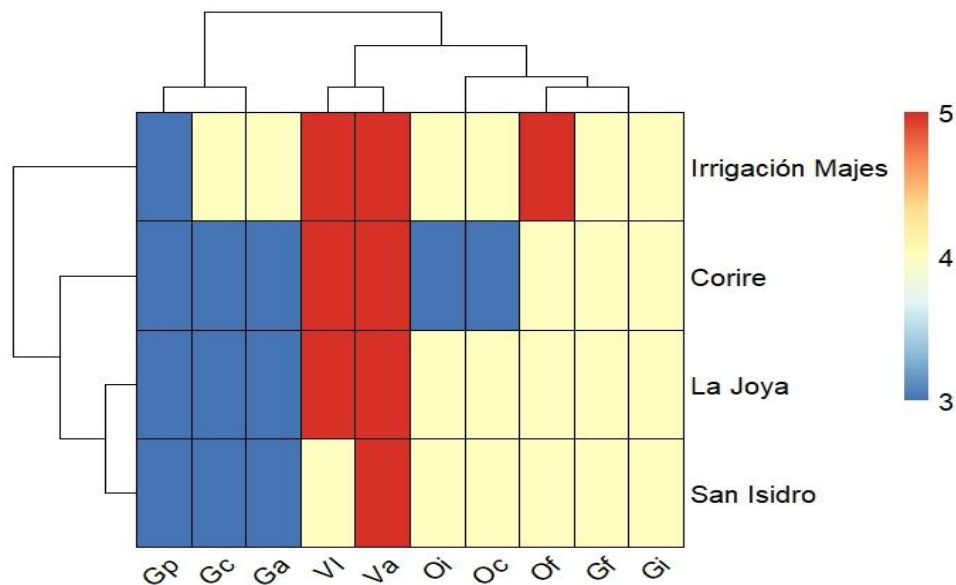


Figura 3. Mapa de calor y dendrograma jerárquico bidireccional de los atributos organolépticos del vino Moscatel evaluado en las zonas de La Joya, San Isidro, Irrigación Majes y Corire, Arequipa, Perú. Vista Vl: limpieza; Va: aspecto aparte de la limpieza; olfato Of: franqueza; Oi: intensidad positiva; Oc: calidad; gusto Gf: franqueza; Gi: intensidad positiva; Gp: persistencia armoniosa; Gc: calidad; Ga: armonía-juicio global. La evaluación sensorial se realizó mediante una escala ordinal de 1 a 5, donde 1 correspondió a la menor puntuación y 5 a la mayor asignada a cada atributo. En el mapa de calor se representan únicamente los valores observados (3 a 5), según la escala de colores.

CONCLUSIONES

Se evidenciaron diferencias significativas en la composición química y en los perfiles organolépticos del vino Moscatel entre las zonas vitivinícolas evaluadas de Arequipa, asociadas a variaciones en las características de la zona de origen, lo que confirma una marcada diferenciación enológica a escala departamental.

El vino procedente de la Irrigación Majes se caracterizó por mayores concentraciones de antocianinas, lo que se reflejó en mejores valoraciones sensoriales. En contraste, Corire registró el mayor contenido de potasio y el mayor grado alcohólico en el vino; esta zona presentó los mayores contenidos de CaCO_3 y conductividad eléctrica, así como una tendencia hacia la mayor concentración potasio disponible en el suelo.

En conjunto, estos resultados evidencian que los vinos Moscatel producidos en Arequipa presentan diferencias relevantes en su composición química y calidad sensorial, aportando información clave para la zonificación

vitivinícola y la valorización del origen y la calidad del vino.

AGRADECIMIENTOS

La siguiente investigación se ejecutó bajo el financiamiento de UNSA Investiga, de la Universidad de San Agustín de Arequipa mediante el contrato IBA-IB-16-2020-UNSA. Se extiende un especial agradecimiento a los productores e investigadores: Víctor Paúl Cuadros Fernández (San Isidro), Octavio Torre De La Gala Delgado (La Joya), Marco Antonio Zúñiga Díaz (Corire) y al CIEPA (Pedregal), por disponer de sus parcelas de uva 'Moscatel' y brindar un valioso apoyo técnico que hizo posible la realización de este estudio.

LITERATURA CITADA

1. Aleixandre Benavent, J.L., J.F. Giner Gonzálbez y J. Aleixandre Tudo. 2013.

- Evaluación del efecto *terroir* sobre la calidad de la uva y el vino (I). *Enoviticultura* 20: 6-16.
2. AOAC (Association of Analytical Communities). 2023. Official Method 985.35: Minerals in Infant Formula (G. W. Latimer Jr., Ed.). In *Official Methods of Analysis of AOAC International* (22^a ed.). Oxford University Press.
 3. Bramley, R.G.V. y R.P. Hamilton. 2007. *Terroir* and precision viticulture: are they compatible?. *OENO One* 41(1): 1-8.
 4. Castro, A., C. Dávila, W. Laura, F. Cubas Saucedo, G. Ávalos, G., López, *et al.* 2021. Climas del Perú: mapa de clasificación climática nacional. SENAMHI, Lima. <https://n9.cl/svdm8>
 5. Dou, F., F.O. Phillip y H. Liu. 2024. Combined Metabolome and Transcriptome Analysis Revealed the Accumulation of Anthocyanins in Grape Berry (*Vitis vinifera* L.) under High-Temperature Stress. *Plants* 13(17): 2394.
 6. Giusti, M.M. y R.E. Wrolstad. 2001. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (1): F1-2.
 7. Hun, H., S. Pheak y H. Sarun. 2026. Soil physical properties and their role in plant growth: Texture, structure, porosity, water retention, compaction, aeration, and root responses. *Journal of Agriculture and Environment* 5: 12-21.
 8. Keller, M. 2020. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology* (3rd ed.). Academic Press. Cambridge, Massachusetts. <https://n9.cl/qx1ce>
 9. Löhnertz, O., P. Böhm y S. Muskat. 2008. *Terroir Hesse-Soil determines wine style Terroir Hesse-Le sol détermine le style du vin*. 8th International Terroir Congress, Nyon, Switzerland. <https://n9.cl/k3sooe>
 10. Marcuzzo, P., F. Gaiotti, M. Lucchetta, L. Lovat y D. Tomasi. 2021. Tuning potassium fertilization to improve pH and acidity in grapevine (*Vitis vinifera* L.) under a warming climate. *Applied Sciences* 11(24): 11869.
 11. Martínez-Vidaurre, J.M., E.P. Pérez-Álvarez, E. García-Escudero y F. Peregrina. 2023. Effects of soil water-holding capacity and soil N-NO³⁻ and K on the nutrient content, vigour and yield of cv. Tempranillo vine and the composition of its must and wine. *OENO One* 57(2): 447-466.
 12. Meilgaard, M.C., G.V. Civille y B.T Carr. 2007. *Sensory evaluation techniques*, 4.^a ed. CRC Press. Boca Raton, Florida.
 13. MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2008. Informe de registro de productores de uva en las regiones de Ica, Arequipa, Moquegua, Tacna y Lima provincias. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. <https://n9.cl/midagri-gob>
 14. Morata, A., I. Loira, C. Escott, C. González y J.A. Suárez-Lepe. 2021. Advances in wine phenolic composition during winemaking and aging: A review. *Foods* 10(8): 1815.
 15. OIV (Organización Internacional del Vino). 2022. Norma OIV de los concursos internacionales de vinos y bebidas espirituosas de origen vitivinícola. <https://n9.cl/zrbi2>
 16. Ribéreau-Gayon, P., Y. Glories, A. Maujean y D. Dubourdieu. 2006. *Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://n9.cl/xzxvfk>
 17. Rogiers, S.Y., Z.A. Coetzee, R.R. Walker, A. Deloire y S.D. Tyerman. 2017. Potassium in the grape (*Vitis vinifera* L.) berry: Transport and function. *Frontiers in Plant Science* 8: 1629.
 18. Salama, A.M., M.A. Abdelsalam, M. Rehan, M. Elansary y A. El-Shereif. 2023. Anthocyanin Accumulation and Its Corresponding Gene Expression, Total Phenol, Antioxidant Capacity, and Fruit Quality of ‘Crimson Seedless’ Grapevine (*Vitis vinifera* L.) in Response to Grafting and Pre-Harvest Applications. *Horticulturae* 9(9): 1001.
 19. Tomasi, D., P. Marcuzzo, T. Nardi, A. Lonardi, L. Lovat, R. Flamini y G. Mian. 2022. Influence of soil chemical features on aromatic profile of *Vitis vinifera* cv. Corvina grapes and wines: a study-case in Valpolicella

- area (Italy) in a calcareous and non-calcareous soil. *Agriculture* 12(12): 1980.
20. Villette, J., T. Cuéllar, S. Delrot y I. Gaillard. 2020. Grapevine potassium nutrition and fruit quality in the context of climate change. *Frontiers in Plant Science* 11: 123.
21. Waterhouse, A.L., G.L. Sacks y D.W. Jeffery. 2024. Sulfur dioxide. *In: Understanding Wine Chemistry*. Wiley.