

Estudio del Perfil de Compuestos Orgánicos Volátiles en Vinos, Influencia del almacenamiento

Luana Leiva¹; Aldana Cuello¹; Laura Almeida¹; Marcelo Carnero¹; Celina vera¹; Viviana Genaro¹; Vanesa Machin¹; Roy Rivero^{1,2}; Isaack Gustavo¹

Autoras/es: ¹Facultad de Bromatología. Universidad Nacional de Entre Ríos. Perón 1154. Gualeguaychú. Entre Ríos. R. Argentina. ²Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos (ICTAER-UNER-CONICET), Argentina

Contacto: gustavo.isaack@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/41n6grzk9>

Resumen

Se realizó un estudio funcional, químico y aromático de vinos producidos en el Departamento Gualeguaychú. Se identificaron diversas familias de compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y alcaloides metilxantínicos) con propiedades antioxidantes y beneficios potenciales para la salud. Los vinos tintos presentaron una mayor concentración y diversidad de polifenoles, asociadas a una capacidad antioxidante superior, aunque algunas muestras de vinos blancos también mostraron un buen desempeño. Las diferencias entre vinos tintos y blancos, así como entre variedades, reflejan tanto las particularidades agroecológicas como las decisiones tecnológicas aplicadas, como el uso de agentes clarificantes que afectan la retención de compuestos bioactivos. El análisis fisicoquímico reveló una amplia variabilidad, dentro de rangos aceptables y comparables a los de vinos comerciales, lo que evidencia el potencial enológico y comercial. Por otro lado, el perfil de compuestos orgánicos volátiles (COV) mostró una evolución durante el almacenamiento, con disminución de tioles frescos y aumento de ésteres frutales. Compuestos como el acetato de isoamilo, el octanoato de etilo y el cis-3-etil-2-(1,1-dimetiletil) oxirano fueron relevantes para la diferenciación sensorial. Se proponen medidas como el uso de gases inertes, control térmico y selección adecuada de materiales en contacto con el vino, a fin de preservar la calidad sensorial final.

Palabras clave: COV, Cromatografía gaseosa, Vinos, Almacenamiento, polifenoles.

Introducción

El vino es el producto resultante de la fermentación alcohólica de los azúcares presentes en el mosto de uva, llevada a cabo por levaduras. La elección del tipo de uva desempeña un rol fundamental en la calidad y el estilo del vino, ya que esta selección se realiza en función del perfil que se desea obtener (Gutiérrez Fernández de Piérola, 2018). Durante la fermentación, los azúcares (principalmente glucosa y fructosa, presentes en concentraciones iniciales que oscilan entre el 15 y el 25 %) se transforman en etanol y dióxido de carbono. Al mismo tiempo, se generan numerosos compuestos secundarios, entre los que destacan los compuestos volátiles, responsables del aroma característico del vino (Escalante Minakata e Ibarra Junquera, 2007).

A comienzos del siglo XX, el aroma del vino se atribuía erróneamente a una única sustancia, el llamado "ácido enántico". Sin embargo, el desarrollo de técnicas analíticas permitió corregir este enfoque simplista. Para 1952, ya se habían identificado aproximadamente cincuenta compuestos responsables del olor, y con el advenimiento de la cromatografía, especialmente la de fase gaseosa, se logró aislar más de mil componentes volátiles diferentes presentes en el vino (Chacón, 2012). Esta fracción volátil tiene un papel determinante en el aroma, una de las cualidades más valoradas por los consumidores y decisiva en la percepción de calidad del producto. No obstante, su estudio resulta complejo por su diversidad química, polaridad y volatilidad. De hecho, se ha informado la presencia de más de mil compuestos en concentraciones que van desde unos pocos ng/L hasta varios cientos de mg/L (Andújar-Ortiz, 2009).

Los compuestos volátiles del vino se encuentran inmersos en matrices complejas, en las que pueden interactuar con macrocomponentes como polifenoles, etanol y polisacáridos (Muñoz González, 2014). Su estabilidad es muy limitada, ya que pueden oxidarse o degradarse fácilmente, lo cual subraya la importancia de estudiar las condiciones de almacenamiento (Rivero Granados, 2019). Entre las principales familias químicas presentes se hallan los ácidos, alcoholes superiores, compuestos carbonílicos, ésteres y terpenos. Los alcoholes superiores, formados por más de dos átomos de carbono, se clasifican en mayoritarios (por encima de 10 mg/L, como 1-propanol, isobutanol, isoamílico y 2-feniletanol) y minoritarios (por debajo de 10 mg/L, como butanol, pentanol y hexanol). Dentro de los aldehídos destacan el etanal, propanal, hexanal y benzaldehído; mientras que entre las cetonas sobresalen la butanodiona (diacetilo) y la acetoína. En cuanto a los ésteres, los más volátiles derivan del ácido acético (acetatos de alcoholes) y del ácido etílico (tartrato, malato, lactato y succinato de mono y dietilo).

Históricamente, la evaluación de estos compuestos ha sido sensorial, mediante gusto y olfato del enólogo. Sin embargo, actualmente existe un creciente interés en utilizar herramientas instrumentales para la identificación y cuantificación de los volátiles en distintas etapas del proceso de vinificación. Técnicas como la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) permiten descubrir compuestos volátiles antes desconocidos y facilitar decisiones técnicas basadas en datos científicos. Los ésteres, por ejemplo, pueden aportar notas frutales o florales; los terpenos, aromas como pino, rosa o lavanda; y los ácidos orgánicos, notas ácidas o avinagradas.

Los ácidos orgánicos presentes en el vino pueden tener origen en la uva (como el málico, tartárico y cítrico) o generarse durante la fermentación (como el acético, láctico y succínico) (Tenorio Sanz, 2014). Además de la variedad de uva, las condiciones de almacenamiento tienen un impacto crucial en la evolución de los compuestos vo-

látiles. El tipo de añejamiento y las condiciones posteriores al embotellado generan reacciones químicas que transforman el bouquet del vino, alterando sus propiedades organolépticas como el color, el amargor y la astringencia (Girard, 2004). Estudios recientes también evidencian que almacenar vinos en condiciones domésticas puede inducir cambios tres a cuatro veces más rápidos que aquellos almacenados en cava (Mattivi, 2015).

En este contexto, se plantea el estudio de los compuestos volátiles en vinos elaborados en el departamento de Gualeguaychú (Entre Ríos), una región donde la vitivinicultura ha experimentado una reactivación significativa. Según datos del Ministerio de Producción, Turismo y Desarrollo Económico de la provincia, existen actualmente 41 viñedos registrados en el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV), junto con cuatro bodegas, siete elaboradores artesanales y once productores de vinos caseros. Estas 68 hectáreas cultivadas se reparten en diversos departamentos, Gualeguaychú destaca entre ellos por su actividad, con 4 hectáreas dedicadas al cultivo de vid. Las variedades implantadas incluyen tanto tintas (Malbec, Tannat, Merlot, Pinot Noir, Marselan) como blancas (principalmente Chardonnay), aunque también se encuentran viñedos sin identificación varietal.

En el caso particular de Gualeguaychú, la actividad vitivinícola se concentra en pequeñas bodegas ubicadas en Colonia El Potrero, el acceso sur de la ciudad y Urdinarrain. Estas bodegas abastecen a un mercado regional y han ido consolidando su presencia a partir de convenios con instituciones como la Facultad de Bromatología, en el marco de iniciativas orientadas a fortalecer el turismo enogastronómico y la cooperación científica-técnica.

Es así como el presente proyecto se propone contribuir al conocimiento sobre los vinos de la región mediante el estudio del perfil de compuestos orgánicos volátiles, evaluando sus variaciones durante el almacenamiento en condiciones normales. Para ello, se buscará poner a punto la metodología de análisis por GC-MS, identificar los compuestos predominantes en diferentes tipos de vino, relacionar dichos perfiles con los parámetros fisicoquímicos obtenidos, y determinar las cinéticas de variación de los principales compuestos volátiles a lo largo del tiempo. De esta manera, se espera generar información que permita valorar y diferenciar los vinos locales, agregando valor a este producto regional en creciente desarrollo.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales: Muestras

Se tomaron muestras de vinos según el varietal, provenientes de distintas bodegas del Departamento de Gualeguaychú, todas vinificadas en un mismo establecimiento. Cada muestra fue tomada por duplicado y envasada en recipientes herméticos para garantizar la estabilidad de los compuestos volátiles, de las características fisicoquímicas y funcionales. Una de las réplicas fue analizada de forma inmediata para caracterizar el perfil inicial de compuestos de interés. La muestra duplicada fue almacenada a temperatura ambiente (20 °C), al abrigo de la luz, en condiciones similares a las que se presentan durante la comercialización del producto. Este procedimiento permitió evaluar la estabilidad de los compuestos volátiles y funcionales a lo largo del tiempo en condiciones representativas del mercado.

2.2. Caracterización fisicoquímica

Para la caracterización fisicoquímica de las muestras, se aplicaron las técnicas analíticas establecidas por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) para la determinación de pH, acidez total, acidez volátil, grado alcohólico y densidad, siguiendo el procedimiento descrito por Nazrala y col. (2009).

2.3. Medición de turbidez

La turbidez se determinó mediante un espectrofotómetro Libra S22, estableciendo una curva de calibración entre 0 y 400 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) con patrones estándar certificados (Zamora Cujilema, y col., 2018).

2.4. Caracterización Funcional

2.4.1. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las muestras se evaluó mediante el método TEAC, basado en la reducción del radical ABTS^{•+}, según Rivero y col. (2021). Las muestras se diluyeron (1:5) en etanol y se midió la absorbancia a 734 nm utilizando una curva estándar de Trolox (0,2–1,2 mg/mL). Los resultados se expresaron como milimoles equivalentes de Trolox por 100 mL de vino.

2.4.2. Contenido de polifenoles totales

El contenido de compuestos fenólicos totales (CPT) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, con lectura a 765 nm, tras diluir las muestras en etanol (1:5). Se utilizó una curva estándar de ácido gálico (0–0,5 mg/mL), según Singleton y Rossi (1965), y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 mL de vino.

2.4.3. Perfil polifenólico por HPLC

Las muestras de vino, previamente diluidas (1:3 en etanol) y filtradas (0,45 µm), se analizaron por HPLC-PDA siguiendo el método de Bernardi y col. (2019), con adaptaciones. Se utilizó un sistema Waters 1525 con detector PDA 2996 y columna C18. La fase móvil A consistió en acetonitrilo-metanol (50:50) y la fase móvil B en agua con ácido fosfórico (99:1). El programa de gradiente utilizado fue el siguiente: Tiempo (min)/fase móvil A:B (%): T0/5:95, T3/5:95, T7/20:80, T15/20:80, T18/30:70, T30/30:70 y T35/5:95, a un caudal de 1 mL/min. La identificación y cuantificación de compuestos polifenólicos se efectuó mediante estándares externos, comparando tiempos de retención y espectros UV-Vis. Las concentraciones se determinaron comparando las áreas de los picos obtenidos con las de estándares de concentración conocida.

2.6. Perfil de compuestos volátiles

El perfil cualitativo de compuestos volátiles se determinó mediante cromatografía de gases capilar acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), aplicando la metodología modificada de la norma EPA 524.3 (EPA, 2009). La extracción se realizó por purga con helio y concentración mediante un sistema Purge & Trap (Teledyne Tekmar). Se utilizaron 2,5 mL de agua ultrapura y 0,5 mL de muestra, purgándose los volátiles hacia una trampa VOCARD 3000. Posteriormente, los compuestos se desorbieron con helio en contraflujo e ingresaron al sistema GC-MS Clarus 600T (Perkin Elmer) para su análisis. La identificación de los compuestos volátiles orgánicos (COV) se realizó mediante

GC-MS en modo cualitativo, utilizando la biblioteca NIST (versión 2008) para comparar los espectros de masas obtenidos por impacto electrónico. Este enfoque se adoptó debido al alto costo de los estándares comerciales, lo que lo convierte en una alternativa viable para la caracterización del perfil de COV en vinos.

2.7. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre muestras. Las comparaciones de medias se realizaron mediante el método LSD de Fisher con un nivel de significancia de $p < 0,05$. El procesamiento de datos se realizó con el software InfoStat-Statistical versión 2017.

3. Resultados y discusión

En la **Tabla 1**, se presentan las muestras analizadas, con el detalle de cepas y año, en la **Figura 1**, se presentan algunas de esas muestras. Adicionalmente, se incorporaron tres muestras comerciales con el fin de comparar los vinos del Departamento de Gualeguaychú con productos de otras regiones vitivinícolas del país. Se seleccionó un vino blanco procedente de Mendoza (MDZ1) y dos vinos tintos: uno también de Mendoza (MDZ2) y otro de San Juan (SJ1).



Figura 1. Muestras de vinos de distintas cepas, donados por las bodegas productoras de la zona

Tabla 1. Muestreo de Vinos tintos y blancos de productores de la zona de Gualeguaychú

Cepa	Año	Codificación
Tannat	2023	M1
Tannat	2023	M2
Sauvignon Blanc	2023	M3
Souvignon Blanc	2023	M4
Malbec	2023	M5
Carbnet Frank	2024	M6
Chardonnay (blanco)	2024	M7
Merlot blanc	2024	M8
Chardonnay (blanco)	2024	M9

Tabla 1, continuación

Merlot-Marselan	2024	M10
Merlot	2023	M11
Marselan	2024	M12
Tannat	2024	M13

3.1. Resultados de parámetros físico químicos

Las muestras de vino presentaron una amplia variabilidad en los valores de pH (**Figura 2**), en muchos casos por encima del rango óptimo enológico (3,2–3,8). Particularmente, los vinos tintos locales (M1–M6) mostraron pH elevados (4,09–4,33), destacándose M2 (4,33) y M11 (4,40), lo que podría comprometer la estabilidad microbiológica y disminuir el potencial de guarda. En contraste, las muestras comerciales (MDZ1, MDZ2 y SJ) exhibieron valores dentro del rango recomendado (3,27–3,73), lo que favorece la estabilidad y percepción de frescura.

En los vinos blancos se observaron también valores dispares. Algunas muestras (M4, M3, M8 y M9) superaron el límite superior del rango óptimo, mientras que M7, M12 y M13 se mantuvieron dentro de márgenes aceptables, lo que podría vincularse a factores varietales y a decisiones tecnológicas durante la vinificación.

Respecto al contenido alcohólico (**Figura 2**), los vinos tintos locales presentaron un rango entre 8,8% y 14,6% v/v. Las muestras M10 y M11 alcanzaron los valores más altos, posiblemente por una mayor madurez de la uva, mientras que M2 mostró el valor más bajo (8,8%), inusualmente bajo para esta tipología. En los blancos, el contenido alcohólico osciló entre 10,0% y 13,6% v/v, siendo M9 la de mayor graduación, asociada a un perfil más estructurado. Las muestras comerciales presentaron valores entre 11,6% y 13,8% v/v, dentro de los rangos esperados y con menor variabilidad, lo que podría reflejar un mayor control en los procesos de elaboración.

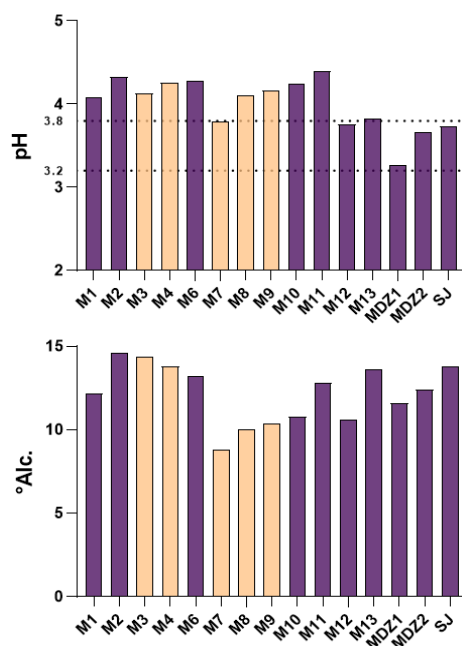


Figura 2: Gráficas de los valores obtenidos de pH y grados alcohólicos de las muestras de vinos. Barras violetas (Vinos tintos) y Barras naranjas (Vinos blancos).

El resto de los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica se presentan en la **Tabla 2**. Los valores de densidad oscilaron entre 0.993 y 0.996 g/mL, consistentes con vinos secos y fermentaciones completas o casi completas. Las muestras M1, M10, M11, M12, M13 y MDZ2 presentaron el valor más alto (0.996 g/mL), posiblemente asociado a una leve presencia de azúcares residuales o mayor concentración de solutos. Los vinos blancos (M3, M4, M7, M8, M9) mostraron densidades iguales o inferiores a 0.994 g/mL, en línea con su menor extracto seco.

En cuanto a la turbidez, la mayoría de las muestras presentó valores por debajo de 10 NTU, reflejando procesos adecuados de clarificación. M4 (0.42 NTU) destacó por su limpidez, mientras que M6 (175.41 NTU), M12 (72.42 NTU) y M13 (60.42 NTU) mostraron turbideces elevadas, indicativas de partículas en suspensión y potenciales deficiencias en la estabilización.

La acidez total se encontró dentro del rango normativo (4.0–7.0 g/L). M4 presentó el valor más bajo (4.28 g/L), lo que podría reducir su frescura. M2, M3 y M6 mostraron los valores más altos (>7.0 g/L), lo que podría contribuir a una mayor vivacidad, especialmente en blancos. El resto se situó en rangos adecuados para el equilibrio gustativo.

Finalmente, todos los vinos evaluados presentaron acidez volátil por debajo del umbral sensorial (0.6 g/L), lo que sugiere una adecuada estabilidad microbiológica. M1, M9 y SJ registraron los valores más altos (0.30–0.39 g/L), mientras que M6, M12 y M13 se destacaron por los valores más bajos (≤ 0.16 g/L), sin indicios de deterioro oxidativo o contaminaciones.

Tabla 2: Valores obtenidos de los análisis de caracterización fisicoquímica. Densidad en g/mL; Turbidez en NUT; Acidez total en g de tartárico/L y Acidez volátil en g de acético/L.

Muestras	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Acidez total (Tartárico g/L)	Acidez volátil (Acético g/L)
M1	0.996±0.001 ^{ab}	1.55±0.06 ^d	6.35±0.04 ^{de}	0.32±0.03 ^{ab}
M2	0.995±0.001 ^{ab}	6.99±0.43 ^e	7.28±0.07 ^{ab}	0.17±0.07 ^{bc}
M3	0.993±0.001 ^c	1.55±0.06 ^{ghi}	6.92±0.13 ^c	0.21±0.04 ^{bc}
M4	0.993±0.001 ^c	0.42±0.01 ^j	4.28±0.09 ^j	0.28±0.01 ^{abc}
M6	0.994±0.001 ^c	175.41±1.68 ^{gh}	7.20±0.04 ^b	0.14±0.02 ^c
M7	0.994±0.001 ^c	1.98±0.53 ^{eg}	5.01±0.04 ⁱ	0.19±0.01 ^{bc}
M8	0.993±0.001 ^c	5.41±0.16 ^f	6.36±0.07 ^{de}	0.27±0.06 ^{abc}
M9	0.993±0.001 ^c	2.04±0.06 ^{gh}	5.53±0.13 ^g	0.30±0.05 ^{abc}
M10	0.996±0.001 ^{ab}	5.72±0.26 ^f	6.50±0.07 ^d	0.21±0.12 ^{bc}
M11	0.996±0.001 ^{ab}	9.23±0.72 ^c	6.37±0.06 ^{de}	0.19±0.11 ^{bc}
M12	0.996±0.001 ^a	72.42±0.79 ^a	5.33±0.07 ^h	0.16±0.04 ^{bc}
M13	0.996±0.001 ^a	60.42±1.62 ^b	5.89±0.14 ^f	0.23±0.02 ^{abc}
Mdz1	0.994±0.001 ^{bc}	0.63±0.11 ^{ij}	7.38±0.15 ^a	0.25±0.01 ^{abc}
Mdz2	0.996±0.001 ^{ab}	1.20±0.12 ^{hij}	6.23±0.08 ^e	0.32±0.05 ^{ab}
SJ	0.995±0.001 ^{ab}	1.83±0.12 ^{gh}	0.07±0.08 ^k	0.39±0.01 ^a

Letras en superíndice diferentes dentro de una misma columna representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras

El pH y la acidez total son parámetros complementarios que influyen en la estabilidad microbiológica, frescura y capacidad de guarda del vino. Si bien una mayor acidez total suele asociarse a un menor pH, esta relación puede alterarse por efectos tamponantes ejercidos por cationes minerales (especialmente potasio) y compuestos fenólicos, que reducen la disponibilidad de protones sin modificar significativamente la acidez titulable.

En las muestras con pH elevados (M2, M11, M4, M6, M10, M9 y M3), se observa una disociación entre ambos parámetros. M2 y M6, por ejemplo, combinan pH superiores a 4,2 con acideces totales elevadas (>7,0 g/L), lo que evidencia una fuerte capacidad tampón. Casos como M4, con bajo nivel de acidez total (4,28 g/L) y pH alto (4,26), reflejan un comportamiento opuesto, con implicancias negativas en frescura y estabilidad.

Muestras como M10, M11, M3 y M9 muestran combinaciones de pH elevado con acidez total moderada a alta, confirmando la presencia de mecanismos tampón que distorsionan la correlación clásica entre ambos parámetros y que podrían comprometer la eficacia conservante de los sulfitos y la estabilidad general del producto.

3.2. Determinación del perfil polifenólico por HPLC

Se determinó el perfil polifenólico de las 11 muestras locales y de las 3 comerciales mediante HPLC, con el fin de comparar la variabilidad en la composición fenólica intra-regional y respecto a productos comerciales. Los resultados obtenidos permiten evaluar posibles diferencias asociadas al origen y a las prácticas enológicas. La información se detalla en la siguiente **Tabla 3**. Los valores que se observan son el promedio \pm desviación estándar de mediciones en triplicado.

Los vinos tintos analizados muestran una notable diversidad polifenólica, influida por la cepa, cosecha y vinificación, lo que determina su perfil funcional y antioxidante. Las muestras de Gualaguaychú reflejaron esta variabilidad: M1 (Tannat, 2023) presentó un bajo contenido polifenólico (234,5 ppm de ácido gálico) y solo trazas de rutina, indicando una extracción fenólica limitada. En contraste, M2 (Tannat, 2023) alcanzó 663,5 ppm de ácido gálico, pero con menor complejidad que vinos comerciales. M6 (Cabernet Franc, 2024) destacó con 1702,3 ppm de ácido gálico y compuestos bioactivos como ácido clorogénico, cumárico, cafeico, protocateico, cafeína y kaempferol, posicionándose como altamente funcional. M10 (Merlot-Marselan, 2024) mostró 1051,9 ppm de ácido gálico, con rutina, quercetina, cumárico, cafeico, kaempferol, cafeína y alta teobromina, superando algunas muestras comerciales. M11 (Merlot, 2023), con 1232,8 ppm de ácido gálico y metabolitos similares a M10, exhibió un elevado potencial antioxidante, comparable a vinos de San Juan y Mendoza.

Los vinos blancos de Gualaguaychú también presentaron diversidad polifenólica. M3 (Sauvignon Blanc, 2023) destacó con 967,0 ppm de ácido gálico y compuestos como ácido clorogénico, galangina, cumárico y cafeico, superando a la muestra comercial Mdz1. M4 (Sauvignon Blanc, 2023) mostró 1391,3 ppm de ácido gálico, con menor diversidad pero alto potencial funcional. M7 (Chardonnay, 2024), con 1366,9 ppm de ácido gálico, rutina, cumárico y cafeico, mantuvo un buen nivel antioxidante. M8 (Merlot Blanc, 2024) presentó 1389,0 ppm de ácido gálico, galangina, cafeína, cumárico y cafeico, destacándose por metilxantinas. M9 (Chardonnay, 2024) alcanzó el mayor contenido de ácido gálico (1406,9 ppm) entre los blancos, con ácido clorogénico, cafeico y resveratrol, un compuesto atípico en blancos, asemejándose a vinos tintos en funcionalidad.

Respecto a las muestras comerciales, Mdz1 presentó el perfil más limitado, con solo 773,5 ppm de ácido gálico, lo que podría reflejar prácticas de elaboración más estandarizadas. En cambio, Mdz2 y SJ exhibieron composiciones altamente complejas, con más de 1100 ppm de ácido gálico y presencia de flavonoides, ácidos fenólicos y metilxantinas, posicionándose entre las muestras más ricas del estudio, comparables a los tintos locales mejor perfilados.

Los compuestos fenólicos del vino, como ácidos fenólicos, flavonoides y estilbenos, poseen reconocidas propiedades antioxidantes, capaces de neutralizar especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, lo que contribuye a mitigar el estrés oxidativo (Prata y col., 2025). Esta actividad se asocia con beneficios potenciales en la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y metabólicas. Adicionalmente, estos metabolitos exhiben efectos antiinflamatorios, antimicrobianos, antialérgicos y antitrombóticos, así como capacidad para modular rutas de señalización celular, reforzando su valor funcional en el contexto de un consumo moderado de vino. Los cromatogramas de las muestras M6 y M8 (**Figura 3**) evidencian una elevada complejidad polifenólica, reflejada en la diversidad e intensidad de los picos, aunque algunos compuestos presentan baja visibilidad debido a la longitud de onda utilizada (270 nm). Los metabolitos detectados pertenecen mayoritariamente a ácidos fenólicos, flavonoides y estilbenos, junto con alcaloides metilxantínicos de interés bioactivo.

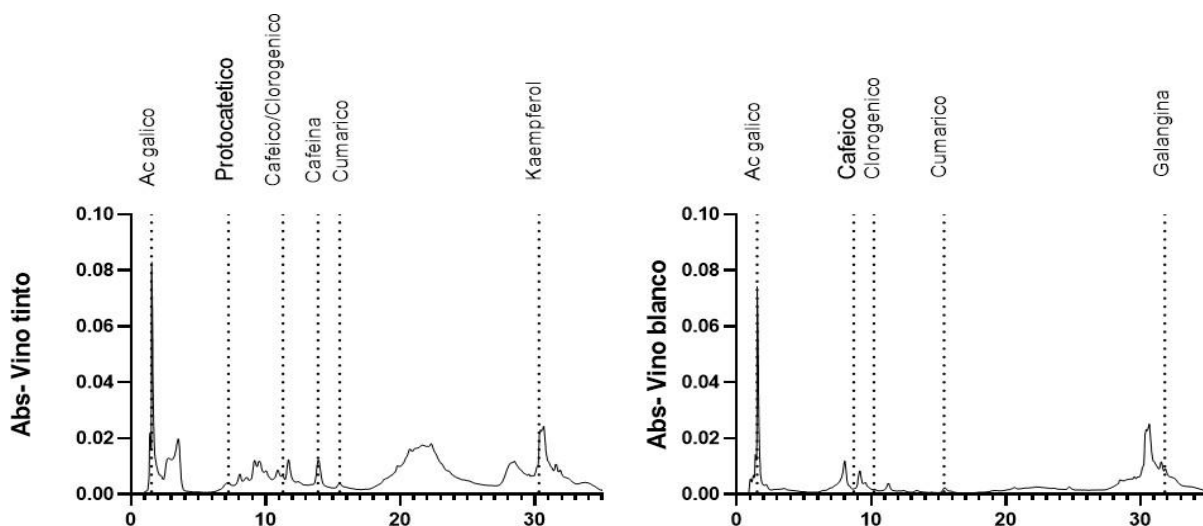


Figura 3: perfil polifenólico obtenidos de dos muestras de vinos de la zona de Gualeguaychú. En el eje Y se muestran las absorbancias medidas a 270 nm y en el eje X el tiempo de corrida en minutos

Entre los ácidos fenólicos se identificaron compuestos hidrogenoicicos (gálico, protocateico) e hidroxicinámicos (cafeico, cumárico, clorogénico), conocidos por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y su participación en la regulación de procesos celulares. Los flavonoides detectados incluyen flavonoles (quercetina, kaempferol, galangina) y glucósidos como la rutina, con acciones antioxidantes, antiinflamatorias y cardioprotectoras. El resveratrol, estilbeno presente en algunas muestras, se asocia con beneficios cardiovasculares, actividad antiinflamatoria y efectos antienvjecimiento. Asimismo, la cafeína y la teobromina aportan efectos estimulantes, vasodilatadores y cognitivos, ampliando el valor funcional del perfil químico observado.

Tabla 3: perfil de polifenoles por HPLC de las muestras de vinos de la región y comerciales.

Vinos	Perfil polifenólico por HPLC en ppm												
	Ac gálico	Rutina	Clorogénico	Galangina	Cumarico	Cafeico	Cafeína	Kaempferol	Teobromina	Resveratrol	Quercetina	Protocatecico	
M1	234.5±10.3 ^e	2.4±1.4 ^e	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
M2	663.5±66.0 ^{de}	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
M3	967.0±15.6 ^{bcd}	N/D	54.7±1.3 ^a	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
M4	1391.3±131.5 ^{ab}	N/D	7.0±0.3 ^c	N/D	N/D	4.12±0.2 ^d	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
M6	1702.3±34.5 ^a	N/D	4.1±0.9 ^d	N/D	2.1±0.2 ^b	2.6±0.2 ^e	12.2±0.9 ^b	0.15±0.01 ^b	N/D	N/D	N/D	9.18±0.1 ^b	
M7	1366.9±116.3 ^{ab}	N/D	N/D	N/D	2.4±0.1 ^a	3.2±0.2 ^{de}	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
M8	1389.0±109.2 ^g	N/D	2.1±0.5 ^e	8.5±0.0	2.2±0.0 ^{ab}	28.9±0.6 ^c	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
M9	1406.9±0.6 ^{abc}	N/D	12.2±0.6 ^b	N/D	N/D	46.2±1.5 ^a	N/D	N/D	N/D	0.83±0.01	N/D	N/D	
M10	1051.9±112.2 ^{ab}	34.2±1.7 ^a	N/D	N/D	2.1±0.1 ^b	47.3±1.3 ^a	N/D	N/D	117.5±8.5 ^a	N/D	10.8±0.9 ^a	N/D	
M11	1232.8±4.4 ^{abc}	5.8±0.8 ^f	N/D	N/D	N/D	39.2±0.2 ^b	26.9±4.4 ^a	N/D	91.8±1.9 ^b	N/D	2.53±0.4 ^b	N/D	
Mdz1	773.5±1.3 ^{abc}	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
Mdz2	1117.6±72.3 ^{cde}	21.3±0.9 ^b	N/D	N/D	N/D	N/D	23.03±6.3 ^a	N/D	62.6±6.5 ^c	N/D	11.0±0.7 ^a	12.9±0.2 ^a	
SJ	1108.6±6.8 ^{abc}	26.9±0.7 ^c	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	4.0±0.46 ^a	N/D	N/D	N/D	N/D	

N/D – Compuesto no detectado. Letras en superíndice diferentes dentro de una misma columna representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras

3.3. Caracterización funcional

Los valores resultantes de la caracterización funcional se presentaron en la **Tabla 4** y se puede observar que la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales permitieron evaluar de manera integral el perfil funcional de los vinos analizados. En general, se observó una relación directa entre ambos parámetros: las muestras con mayor concentración de polifenoles totales tendieron a mostrar una mayor capacidad antioxidante. No obstante, algunas excepciones sugieren la presencia de compuestos con alta eficiencia antioxidante relativa, incluso en niveles moderados de CPT, lo cual refuerza la importancia de considerar no solo la cantidad, sino también la calidad y diversidad de los polifenoles presentes.

Entre los vinos tintos, la muestra M11 (Merlot) se destacó con claridad, alcanzando la mayor capacidad antioxidante del conjunto (6.06 mmol Trolox/100 mL) y el contenido más alto de polifenoles totales (6131.9 mg EAG/100 mL). Este desempeño supera al de todas las muestras comerciales y posiciona a M11 como una de las más prometedoras desde el punto de vista funcional. La muestra M10 (Merlot-Marselan) también presentó valores elevados en ambos parámetros (4.83 mmol Trolox/100 mL y 4505.5 mg EAG/100 mL), comparables a los de la muestra comercial San Juan. Por su parte, M1 (Tannat) alcanzó una capacidad antioxidante notable (5.25 mmol Trolox/100 mL) y un contenido de polifenoles de 4499.2 mg EAG/100 mL, a pesar de su perfil cromatográfico limitado, lo que sugiere una alta concentración de compuestos fenólicos simples con fuerte actividad radicalaria. En contraste, M2 (Tannat) y M6 (Cabernet Franc) mostraron niveles funcionales intermedios, siendo llamativo en el caso de M6 su bajo CPT (2084.6 mg EAG/100 mL) en relación con la diversidad de compuestos detectada, lo que podría explicarse por una menor reactividad frente al reactivo de Folin-Ciocalteu.

Los vinos blancos, como era esperable, presentaron valores más bajos de CPT y ABTS en comparación con los tintos. Sin embargo, algunas muestras evidenciaron un perfil funcional destacado. M9 (Chardonnay) sobresalió entre los blancos con 2.64 mmol Trolox/100 mL y

625.5 mg EAG/100 mL, acercándose a los niveles de algunas muestras tintas de menor intensidad funcional. M3 (Sauvignon Blanc) también mostró un buen rendimiento (2.05 mmol Trolox/100 mL y 495.8 mg EAG/100 mL), en coherencia con su mayor diversidad de compuestos fenólicos observada en el análisis cromatográfico. En cambio, las muestras M4, M7 y M8 exhibieron niveles más bajos de actividad antioxidante y polifenoles, aunque aún por encima de la muestra comercial Mdz1, que presentó un perfil funcional particularmente limitado.

Respecto a las muestras comerciales, se observaron diferencias marcadas. Mdz2 se posicionó como la más funcional, con una capacidad antioxidante de 6.39 mmol Trolox/100 mL y un CPT de 5594 mg EAG/100 mL, siendo comparable a M11 y superior a la mayoría de los vinos locales. San Juan también presentó un perfil robusto, con 5.16 mmol Trolox/100 mL y 5042.7 mg EAG/100 mL, confirmando su buena estructura polifenólica. En contraste, Mdz1 mostró los valores más bajos tanto en CPT (493.8 mg EAG/100 mL) como en capacidad antioxidante (1.38 mmol Trolox/100 mL), lo que concuerda con su pobre diversidad fenólica previamente observada.

Tabla 4: caracterización de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos funcionales

Muestras	Características funcionales	
	ABTS (mmol trolox/100 mL)	CPT (mg EAG/100 mL)
M1	5.25±0.24 ^{ab}	4499.2±159.6 ^d
M2	3.730±0.18 ^{cd}	3163.3±121.2 ^e
M3	2.05±0.59 ^{ef}	495.8±8.9 ^g
M4	1.21±0.15 ^f	424.8±56.2 ^g
M6	2.33±0.25 ^{ef}	2084.6±8.9 ^f
M7	1.75±0.01 ^{ef}	474.9±8.9 ^g
M8	1.31±0.34 ^{ef}	5.16.8±38.4 ^g
M9	2.64±1.73 ^{de}	625.5±26.6 ^g
M10	4.83±0.69 ^{bc}	4505.5±32.5 ^d
M11	6.06±0.12 ^{ab}	6131.9±209.9 ^a
Mdz1	1.38±0.18 ^{ef}	493.8±5.9 ^g
Mdz2	6.39±0.28 ^a	5594±82.8 ^b
San Juan	5.16±0.21 ^{ab}	5042.7±313.4 ^c

Letras en superíndice diferentes dentro de una misma columna representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras

Se evidenció que varias de las muestras locales, en particular los vinos tintos M11, M10 y M1, no solo igualan, sino que superan a las mejores muestras comerciales en términos de capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales. En los vinos blancos, aunque los valores funcionales fueron menores en general, algunas muestras como M9 y M3 demostraron un perfil destacado, superando incluso a la muestra comercial Mdz1.

3.4. COV en vinos del departamento Gualeguaychú

En el análisis por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), se aplicó un solvent delay de 4,80 minutos para prevenir la saturación del detector causada por la elevada concentración de etanol en las muestras. Dado que el etanol es el compuesto volátil más abundante y eluye tempranamente debido a su alta volatilidad, puede generar un pico intenso que interfiera con la detección de compuestos de interés cercanos en el tiempo de retención. Además, su exceso podría comprometer la sensibilidad del detector por sobrecarga del filamento. Durante el solvent delay, el filamento permanece apagado, impidiendo la adquisición de señal del etanol y resguardando el sistema. Esta estrategia optimiza la detección de compuestos minoritarios y mejora la calidad del análisis.

A continuación, en la **Figuras 4 y 5** se muestra el perfil de COV obtenido en las muestras de variedades de uvas blancas y tintas, analizados antes de su almacenamiento:

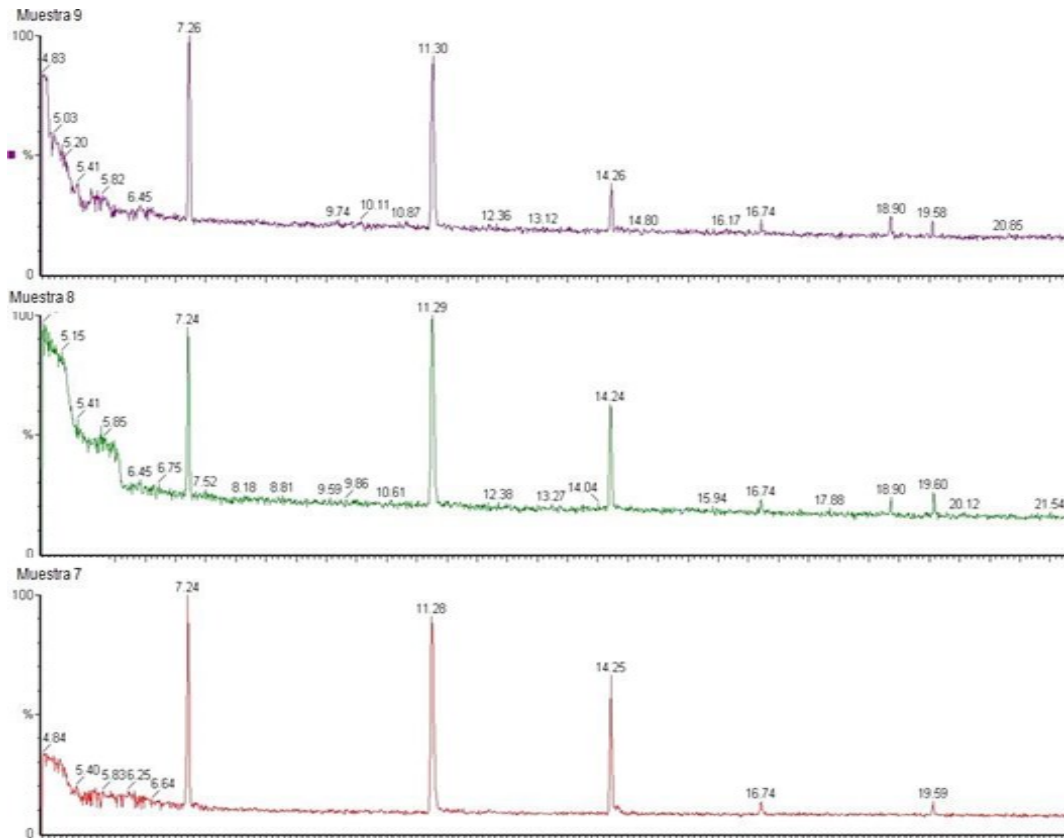


Figura 4: Cromatogramas de variedades de uvas blancas.

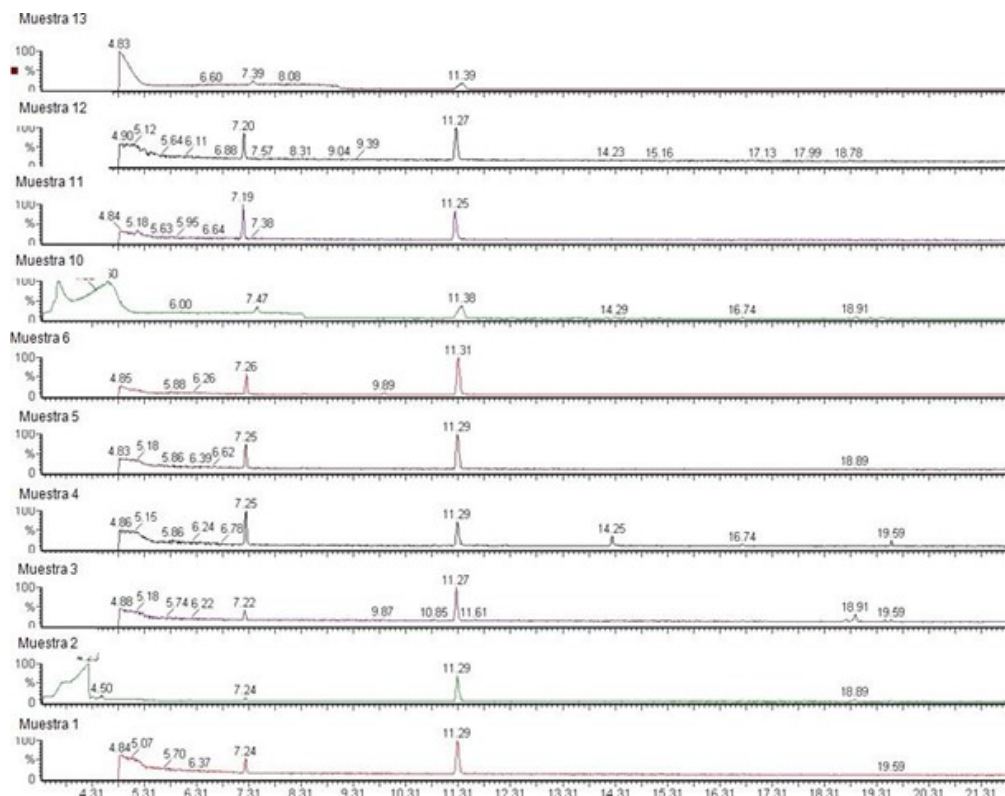


Figura 5: Cromatogramas de variedades de uvas tintas.

Como ejemplo, en la **figura 6 y 7** se muestra el resultado de la identificación en biblioteca Nist de uno de los compuestos presentes en la cepa Carbernet Frank:

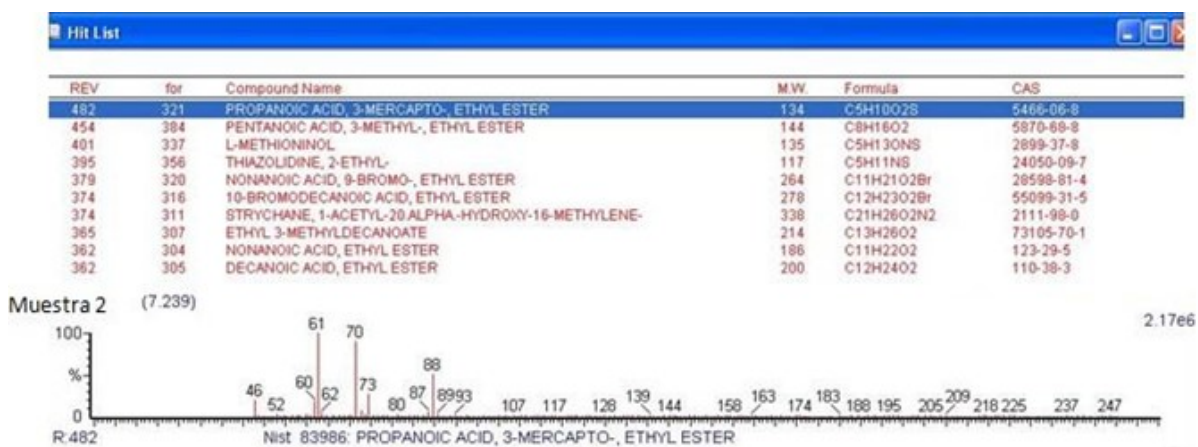


Figura 6: Resultado de Nist: 3-mercaptopropionato de etilo

En el siguiente caso se observa el resultado de la identificación en biblioteca Nist de uno de los compuestos presentes en la cepa Carbernet Frank con la búsqueda en biblioteca con los posibles compuestos volátiles presentes:

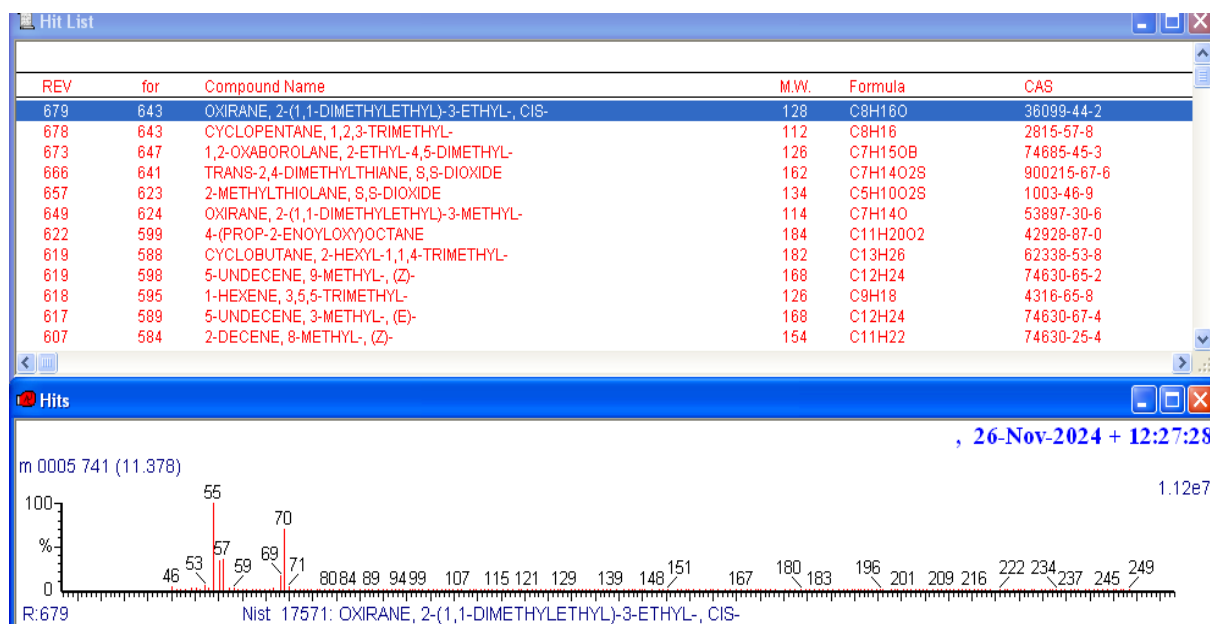


Figura 7: Resultado de Nist: Cis 3-etil 2-(1,1) dimetil etil oxirano

En la Tabla 5 se presentan los COV encontrados en las diferentes muestras analizadas por GC-MS:

Tabla 5: Códigos correspondientes de COV mayoritarios y tiempos de Retención (TR)

Código	Nombre COV	TR (Min)
C1	3-Mercaptopropionato de etilo	7,25
C2	Cis 3-etil 2-(1,1) dimetil etil oxirano	11,37
C3	Acetato de isoamilo	14,25
C4	Decanoato de etilo	16,74
C5	2-Mercapto etil éster	18,89
C6	Octanoato de etilo	19,58

Para calcular la distribución porcentual relativa de los Compuestos Orgánicos Volátiles en vino, se integraron los cromatogramas y en base a las áreas obtenidas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje Relativo} = \left(\frac{\text{Área del compuesto en el cromatograma}}{\text{Área total de COVs detectados}} \right) \times 100$$

A continuación, en la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de COV pre almacenamiento:

Tabla 6: % Relativo de COV en vinos

Nº Muestra	Cepa	Año	Tipo uva	C1	C2	C3	C4	C5	C6
M1	Tannat	2023	Tinta	20	80	N/D	N/D	N/D	N/D
M2	Tannat	2023	Tinta	18	69	N/D	N/D	N/D	N/D
M3	Sauvignon Blanc	2023	Blanca	18	69	N/D	N/D	N/D	N/D
M4	Sauvignon Blanc	2023	Blanca	40	40	15	5	N/D	N/D
M5	Malbec	2023	Tinta	31	69	N/D	N/D	N/D	N/D
M6	Cabernet Franc	2021	Tinta	26	74	N/D	N/D	N/D	N/D
M7	Chardonnay	2024	Blanca	33	44	18	2	N/D	3
M8	Merlot Blanc	2024	Blanca	26	45	19	2	4	3
M9	Chardonnay	2024	Blanca	39	42	11	2	4	2
M10	Merlot-Marselan	2024	Tinta	11	89	N/D	N/D	N/D	N/D
M11	Merlot	2023	Tinta	43	57	N/D	N/D	N/D	N/D
M12	Marselan	2024	Tinta	33	67	N/D	N/D	N/D	N/D
M13	Tannat	2024	Tinta	10	90	N/D	N/D	N/D	N/D

Ref: N/D: No detectado

3.5. Impacto de los COVs en el aroma del vino

Los ésteres son compuestos volátiles formados por la reacción entre ácidos y alcoholes presentes en el vino, generándose principalmente durante la fermentación alcohólica y el envejecimiento. Estos compuestos, especialmente los ésteres neutros y odoríferos, son responsables del carácter afrutado y juvenil del aroma del vino (Del Pozo Bayón, 2011).

- C1: 3-Mercaptopropionato de etilo. Contiene un grupo tiol, lo que le confiere una alta actividad aromática incluso en bajas concentraciones, contribuyendo con notas frutadas positivas (Del Pozo Bayón, 2011; Kolor, 1983). Los tioles, aunque pueden aportar aromas deseables como fruta de la pasión (Sauvignon Blanc), también están asociados a defectos cuando su concentración es elevada (Escobal González, 1999).
- C2: Cis 3-etil 2-(1,1) dimetil etil oxirano. Este epóxido, clasificado funcionalmente como un éter, es un compuesto minoritario del perfil aromático del vino. Aunque poco estudiado, puede influir en el aroma si se encuentra en concentraciones elevadas o combinado con otros compuestos oxigenados. Se ha detectado con mayor frecuencia en vinos con tapa a rosca, pudiendo tener efectos negativos sobre el perfil sensorial (Jové y col., 2024).
- C3: Acetato de isoamilo. Éster fermentativo ampliamente reportado en vinos jóvenes por su característico aroma a banana. Su presencia depende del perfil de aminoácidos de la uva y del proceso fermentativo (Del Pozo Bayón, 2011; Escobal González, 1995, 1999; Zaragoza, 2004). Diferencias en su concentración se han atribuido a factores varietales, geográficos y tecnológicos (López y col., 2018; Olarte-Plata & Peralta B., s.f.).
- C4: Decanoato de etilo. Pertenece a los ésteres de ácidos grasos de cadena larga y contribuye a aromas tropicales, principalmente en vinos blancos. Su formación está mediada por levaduras y responde a condiciones enológicas específicas (Geffroy, Barrieu & Dubourdiou, 2013; Escobal González, 1999).
- C5: 2-Mercaptoetil éster. Otro compuesto con grupo tiol que puede generar tanto notas afrutadas positivas como defectos relacionados con la reducción (Del Pozo Bayón, 2011; López y col., 2018; Zaragoza, 2004). Su impacto aromático depende de su concentración y de la variedad de uva.
- C6: Octanoato de etilo. Éster de ácido graso de cadena media, relacionado con aromas a frutas maduras y tropicales como durazno, manzana o piña. Es típico en vinos jóvenes y blancos por su capacidad de aportar frescura (Escobal González, 1999; Heredia, 2014; Vilanova y col., 2005; Rapp & Mandery, 2000).

3.6. Análisis post almacenamiento de los COVs

A continuación, en la **Figura 8** se muestran los cromatogramas de las muestras, los espectros de masas de la muestra 1 y compuestos volátiles más comúnmente encontrados, analizados después del almacenamiento:

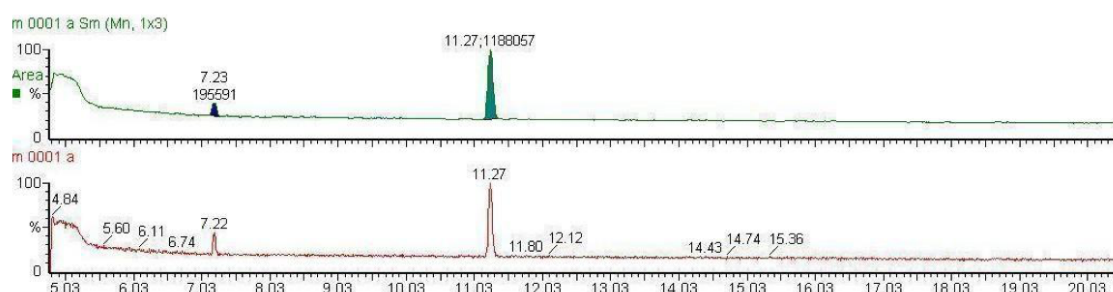


Figura 8: Resultado de la Integración de un cromatograma después del almacenamiento.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de % Relativo de COV en las muestras analizadas luego del almacenamiento:

Tabla 7: % Relativo de COVs en vinos

N° Muestra	Cepa	Año	Tipo uva	C1	C2	C3	C4	C5	C6
M1	Tannat	2023	Tinta	14	86	N/D	N/D	N/D	N/D
M2	Tannat	2023	Tinta	6	49	45	N/D	N/D	N/D
M3	Sauvignon Blanc	2023	Blanca	6	74	19	N/D	N/D	N/D
M4	Souvignon Blanc	2023	Blanca	28	68	4	N/D	N/D	N/D
M5	Malbec	2023	Tinta	25	75	N/D	N/D	N/D	N/D
M6	Carbernet Frank	2021	Tinta	20	80	N/D	N/D	N/D	N/D
M7	Chardonnay	2024	Blanca	4	93	2	N/D	N/D	1
M8	Merlot blanc	2024	Blanca	14	26	50	5	5	1
M9	Chardonnay	2024	Blanca	28	4	61	2	3	2
M10	Merlot-Marselan	2024	Tinta	9	91	N/D	N/D	N/D	N/D
M11	Merlot	2023	Tinta	13	87	N/D	N/D	N/D	N/D
M12	Marselan	2024	Tinta	36	64	N/D	N/D	N/D	N/D
M13	Tannat	2024	Tinta	29	71	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: No detectado

Tabla 8: Tiempos de Retención (TR) en minutos (Min) y códigos correspondientes de COV mayoritarios

Código	Nombre COV	TR (Min)
C1	3-Mercaptopropionato de etilo	7,25
C2	Cis 3-etil 2-(1,1) dimetil etil oxirano	11,37
C3	Acetato de isoamilo	14,25
C4	Decanoato de etilo	16,74
C5	2-Mercapto etil éster	18,89
C6	Octanoato de etilo	19,58

En el siguiente gráfico de la **Figura 9** se puede observar el % Relativo de COV en las distintas muestras analizadas después del almacenamiento:

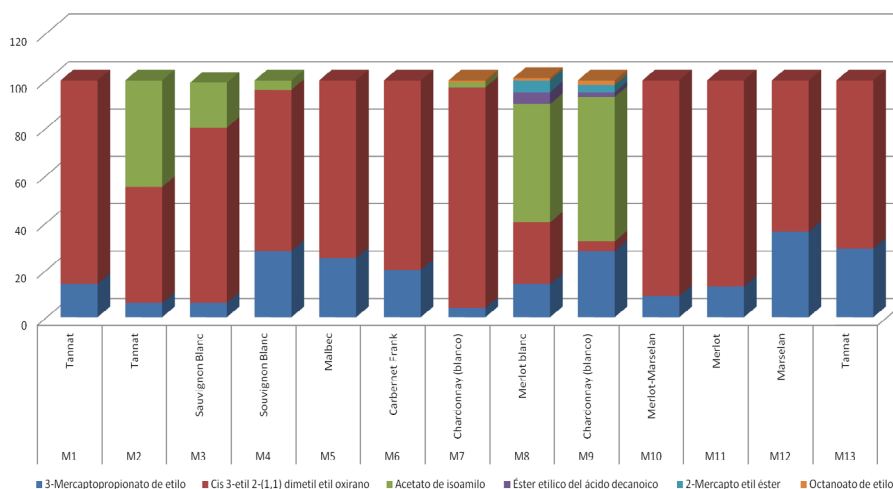


Figura 9: Gráfico del % Relativo de COV post almacenamiento

El análisis de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en vinos antes y después del almacenamiento reveló importantes modificaciones en su perfil aromático. Estas variaciones se atribuyen principalmente a reacciones químicas como la esterificación, hidrólisis, oxidación, volatilización o transformación de precursores glicosilados, así como posibles interacciones con materiales de contacto.

El 3-mercaptopropionato de etilo, un tiol asociado a notas frescas, evidenció una clara disminución en múltiples muestras (M1 a M11), lo que sugiere su inestabilidad frente al envejecimiento. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Ferreira y Cacho (2009), quienes describen transformaciones oxidativas de tioles volátiles durante el almacenamiento.

El cis-3-etil-2-(1,1-dimetiletil) oxirano, epóxido atípico en vinos, aumentó en muchas muestras, y su presencia elevada podría estar asociada a procesos oxidativos o migración desde materiales plásticos, actuando como un posible marcador de oxidación.

El acetato de etilo tendió a incrementarse tras el almacenamiento en varias muestras (M1, M3–M7, M10 y M11), posiblemente por reacciones entre etanol y ácido acético que se intensifican con el tiempo (Del Pozo Bayón, 2011). Este compuesto aporta aromas florales y frutales típicos de vinos jóvenes (Muñoz-González y col., 2010).

El acetato de isoamilo mostró aparición o aumento en algunas muestras (como M2, M3, M8 y M9), lo que podría deberse a la liberación de precursores durante el almacenamiento, un fenómeno descrito por Bayonove (1998). En ciertas muestras, su alta concentración aportó perfiles frutales intensos, mientras que en otras, su disminución pudo reducir la expresión aromática tropical.

Los ésteres decanoato y octanoato de etilo no evidenciaron una tendencia clara, lo que sugiere que su evolución depende del balance entre formación y degradación durante el almacenamiento.

3.7. Evolución del perfil aromático por muestra

M1 a M6 (Tintos y blancos jóvenes): Disminución sistemática del 3-mercaptopropionato de etilo y aumento del oxirano, con escasa presencia o pérdida de ésteres frutales. Estas modificaciones podrían haber disminuido la frescura y complejidad aromática, y en algunos casos acentuado notas químicas.

M7 a M9 (Blancos 2024): Cambios más pronunciados en la composición volátil. M7 mostró una importante pérdida de diversidad aromática, mientras que M8 y M9 evidenciaron una evolución más favorable, con un marcado aumento del acetato de isoamilo y estabilidad de ciertos ésteres, lo que sugiere un perfil más frutado y fermentativo.

M10 y M11 (Tintos Los Bayos): Elevadas concentraciones del epóxido oxidativo y disminución de tioles sin compensación aromática por parte de ésteres, lo que indicaría un deterioro sensorial más notorio.

M12 (Marselan 2024): Cambios leves y balanceados, con una disminución moderada del oxirano y mantenimiento general del perfil aromático, lo que apunta a una evolución estable.

3.8. Análisis estadístico

Con el objetivo de evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas en el perfil de compuestos orgánicos volátiles (COVs) entre distintas variedades de vino del departamento de Gualeguaychú, se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA one-way). En este caso, la variedad de vino se consideró como el factor independiente,

mientras que las concentraciones relativas de los diferentes COVs constituyeron las variables dependientes.

El análisis se realizó bajo un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$), utilizando como técnicas estadísticas tanto el análisis descriptivo (media, desviación estándar, rangos) como las pruebas de verificación de hipótesis. Los resultados se aprecian en la **Tabla 9**.

Tabla 9: Análisis estadístico para los diferentes compuestos encontrados en las distintas cepas

COV	Nombre del compuesto	F	p-valor	Diferencias significativas entre cepas
C1	3-Mercaptopropionato de etilo	6.04	0.0831	No
C2	Cis 3-etil 2-(1,1) dimetil etil oxirano	5.07	0.143	No
C3	Acetato de isoamilo	9.54	0.0448	Si
C4	Decanoato de etilo	0	0.0000	Si (alta significancia)
C5	2-Mercapto etil éster	0.79	0.6543	No
C6	Octanoato de etilo	11.05	0.0366	Si

C1 y C2, a pesar de valores F moderadamente altos, no alcanzan significancia estadística cuando se incluye el valor 0 como detección nula. C3, C4 y C6 muestran diferencias significativas entre las variedades de vino ($p < 0.05$), lo que indica que la composición de estos volátiles sí varía según la cepa (ver Fig. 10, 11 y 12). C5 no muestra diferencias significativas.

El acetato de isoamilo C3 presentó un incremento significativo en sus valores promedio y mediano tras el almacenamiento del vino, acompañado de una mayor variabilidad entre muestras. Este comportamiento sugiere que el almacenamiento potencia la concentración de este éster volátil, aunque su evolución puede depender de factores específicos de cada vino, esto puede deberse a transformaciones químicas o liberación progresiva de precursores. Este tipo de compuestos puede tener un impacto sensorial positivo, reforzando los aromas frutales característicos en el vino final.

La alta dispersión post almacenamiento sugiere que la evolución del compuesto no fue uniforme entre todas las muestras, lo cual podría estar relacionado con factores como la cepa, condiciones de cierre o tipo de almacenamiento.

Tras el almacenamiento del vino, el decanoato de etilo C4 experimentó un aumento leve en sus concentraciones promedio y central. El rango de valores intercuartílicos se desplazó hacia arriba después del almacenamiento, lo que sugiere también una tendencia general al aumento. Esto puede deberse a reacciones de esterificación que continúan durante la guarda del vino. A diferencia del Acetato de isoamilo, el cambio es menos marcado, pero igualmente relevante desde el punto de vista enológico, ya que puede modular el perfil aromático del producto final.

El octanoato de etilo C6 disminuyó significativamente después del almacenamiento, tanto en su valor promedio como en todos los valores individuales. Esto sugiere que el almacenamiento afecta negativamente la estabilidad de este compuesto, lo cual puede influir en el perfil aromático del vino, dado que los ésteres como el octanoato de etilo están asociados a aromas frutales agradables.

4. Conclusiones

El estudio caracterizó vinos de Gualaguaychú revelando una notable variabilidad físico-química en pH, acidez total, contenido alcohólico, turbidez y densidad, influenciada por factores agroecológicos y tecnológicos. A pesar de estas diferencias, las muestras locales no se diferenciaron sustancialmente de los vinos comerciales analizados, ubicándose dentro de los rangos esperados para productos de calidad, lo que respalda su potencial enológico y comercial al presentar perfiles composicionales comparables a los de vinos comerciales de Mendoza y San Juan.

En términos funcionales, se observó una amplia diversidad en la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales, con vinos tintos como M11, M10 y M1 destacándose por sus altos niveles, incluso por encima de algunas muestras comerciales, aunque algunas muestras blancas también mostraron buen desempeño. El análisis por HPLC confirmó estas diferencias en el perfil fenólico entre variedades y tipos de vino.

Respecto a los compuestos orgánicos volátiles (COV), se evidenció una dinámica particular de evolución en cada muestra durante el almacenamiento. Se registró una disminución de tioles frescos y un aumento de ésteres frutales, influenciados por la temperatura. Compuestos como el acetato de isoamilo, decanoato de etilo y octanoato de etilo resultaron claves para la diferenciación sensorial entre cepas. Además, se identificó la presencia significativa de cis-3-etil-2-(1,1-dimetiletil) oxirano, cuya formación debe ser controlada por medio de estrategias como el uso de gases inertes, control de temperatura en el fraccionamiento y materiales de contacto alimentario adecuados.

5. Bibliografía

- Andújar-Ortiz, I., Moreno-Arribas, M., Martín-Álvarez, P., & Pozo-Bayón, M. (2009). Analytical performance of three commonly used extraction methods for the gas chromatography-mass spectrometry analysis of wine volatile compounds. *Journal of Chromatography A*, 1216(43), 7351–7357. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.08.055>
- Bernardi, T., Bortolini, O., Massi, A., Sacchetti, G., Tacchini, M., & De Risi, C. (2019). Exploring the synergy between HPTLC and HPLC-DAD for the investigation of wine-making by-products. *Molecules*, 24(19), 3416.
- Berradre, M., Cáceres, A., Mármol, Z., Raga, J., Rincón, M., & Araujo, K. (2019). Evaluación del perfil aromático de vino blanco producido con cepas resultantes de la fusión de protoplastos de levaduras. *Revista Bases de la Ciencia*, 4(2), 35–50. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/1633>
- Bustamante, R. (2006). *Evaluación de los compuestos volátiles del vino base y del pisco de las variedades de uva: Italia, Moscatel y Torontel* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2608>
- Chacón, J. (2012). Moléculas que originan los sabores y aromas en la leche, los quesos y los vinos. *Revista Reciteia*, 12. <https://www.researchgate.net/publication/258519573>
- Cioch-Skoneczny, M., Grabowski, M., Satora, P., Skoneczny, S., & Klimczak, K. (2021). El uso de cultivos mixtos de levadura para la desacidificación y mejora de la composición de vinos de uva de clima frío. *Molecules*, 26(9), 2628. <https://doi.org/10.3390/molecules26092628>

- EPA METHOD 524.3, version 1.0. (2009). Measurement of purgeable organic compounds in water by capillary column gas chromatography/mass spectrometry; 2
- Escalante-Minakata, P., & Ibarra-Junquera, V. (2007). Los cultivos mixtos y las fermentaciones alcohólicas.
- Escalona, H., Byrkmire, L., & Piggot, J. (2011). Efecto de la temperatura de añejamiento sobre el perfil de aromas y la capacidad antioxidante del vino tinto. Universidad de Strathclyde. https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_XIII/OXIII-7.pdf
- Etiévant, P. X. (2017). Wine. En H. Maarse (Ed.), *Volatile compounds in foods and beverages* (pp. 483–546). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9780203734285>
- García Carretero, M. L. (2017). *Análisis del contenido polifenólico en vinos tintos mediante lengua electrónica, FTIR y UV-vis* [Trabajo fin de máster, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/25968>
- Guirard, G. (2004). *Bases científicas y tecnológicas de la enología*. Editorial Acribia.
- Gutiérrez Fernández de Piérola, J. (2018). El papel de la selección de levaduras en la elaboración del vino. *Cuadernos del Tomás*, (10), 169–198. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6573032>
- Jackson, R. (2002). *Análisis sensorial de vinos: Manual para profesionales*. Editorial Acribia.
- Lopez, J. (2011). *Efecto de la temperatura de añejamiento sobre el perfil de aromas y la capacidad antioxidante del vino tinto* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://www.yumpu.com/es/document/view/14245963>
- Lopez, R., Aznar, M., Cacho, J., & Ferreira, V. (2002). Determination of minor and trace volatile compounds in wine by solid-phase extraction and gas chromatography with mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A*. <https://www.researchgate.net/publication/313715926>
- Martínez-Gil, A., Alamo-Sanza, M., Gutiérrez-Gamboa, G., Moreno-Simunovic, Y., & Nevares, I. (2018). Volatile composition and sensory characteristics of Carménère wines macerating with Colombian (*Quercus humboldtii*) oak chips compared to wines macerated with American (*Q. alba*) and European (*Q. petraea*) oak chips. *Food Chemistry*, 266, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.105>
- Mattivi, F., Aprea, P., Perenzoni, D., & Gasperi, G. (2015). Influence of storage conditions on the composition of red wines. En S. E. Ebeler et al. (Eds.), *Advances in Wine Research* (pp. 95–110). ACS Symposium Series. <https://www.researchgate.net/publication/279324377>
- Méndez Mendoza, M. (2009). El aroma del vino. *Isagogé*, 6. http://isagoge.atspace.com/documentos/Archivo_isagoge6/EL_AROMA_DEL_VINO.pdf
- Ministerio de Producción, Turismo y Desarrollo Económico del Gobierno de Entre Ríos. (2022). https://www.entrerios.gov.ar/minpro/index.php?codigo=&cod=2976&codtiponoticia=1¬icia=ver_noticia&modulo=noticia
- Moreno Vigar, J. (2010). *Química enológica*. AMV Ediciones.
- Muñoz González, C. (2014). *Influencia de la matriz vínica y de parámetros oro-fisiológicos en la liberación del aroma del vino: Impacto en el aroma retronasal* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/662933>

- Nazralla, J. J., Paladino, S. C., Vila, H. F., & Lucero, C. C. (2009). Manual de técnicas analíticas para mostos y vinos. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- OI Analytical. (s.f.). *Analysis of volatile organic compounds in wine by purge and trap concentration and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)*. Xylem Inc. <https://www.oico.com/File%20Library/Resource%20Library/Application%20Notes/Analysis-of-Volatile-Organic-Compounds-in-Wine-by-P-T-Concentration-GC-MS.pdf>
- Piccardo, D., Favre, G., Pascual, O., Canals, J. M., Zamora, F., & González-Neves, G. (2019). Evaluación de la composición y calidad del color de vinos tintos Tannat elaborados por maceración pre-fermentativa en caliente. *BIO Web of Conferences*, 12, 02006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191202006>
- Prata, C., Zalambani, C., Rossi, F., Rossello, S., Cerchiara, T., Cappadone, C., & Malucelli, E. (2025). Nutrients and Nutraceuticals from *Vitis vinifera* L. Pomace: Biological Activities, Valorization, and Potential Applications. *Nutrients*, 17(3), 583.
- Rivero Granados, F. J. (2019). *Aprovechamiento de semillas de uva sobremaduras para la mejora del color de vinos tintos elaborados en clima cálido* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/91362>
- Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., & Schebor, C. (2021). Development and characterization of two gelatin candies with alternative sweeteners and fruit bioactive compounds. *LWT*, 141, 110894.
- Secretaría de Comunicación del Gobierno de Entre Ríos. (2012). Crece la producción y la calidad vitivinícola en Entre Ríos. <https://noticias.entrieros.gov.ar/notas/crece-la-produccion-y-la-calidad-vitivinicola-en-entre-ros-30311.htm>
- Secretaría de Comunicación del Gobierno de Entre Ríos. (2018). Producción vitivinícola en Entre Ríos: una industria en crecimiento. <https://noticias.entrieros.gov.ar/amp/produccion-vitivinicola-en-entre-ros-una-industria-en-crecimiento.htm>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Tenorio Sanz, M., Aparicio Cediell, I., Prádena Lobón, J., García Mata, M., Pérez Rodríguez, M., Redondo Cuenca, A., Villanueva Suárez, M., & Zapata Revilla, M. (2014). *El vino y su análisis*. Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/29446/>
- Zamora Cujilema, V., Mariño, G., González Gallardo, C. E., Jácome, B., & Beltrán-Sinchi-guano, E. (2018). Estudio de la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles en el proceso de clarificación del vino de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) utilizando cálices frescos. *Enfoque UTE*, 9(2), 1-14.

PID 9144

Denominación del Proyecto

Estudio del Perfil de Compuestos Orgánicos Volátiles en Vinos, Influencia del almacenamiento

Unidad de ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Bromatología

Cátedra, Área o disciplina científica

Enología e Industrias de la Fermentación, Química general I y II y Química Analítica II. Ciencias Naturales y Exactas

Contacto: gustavo.isaack@uner.edu.ar

Integrantes del proyecto

Director/a

Isaack Gustavo Alberto

Codirectora

Machin, Vanesa Karina

Integrantes internos/docentes UNER

Almeida, María Laura (FB-UNER); Carnero, Marcelo César (FB-UNER); Vera, María Celina (FB-UNER); Sánchez Renzo (FB-UNER).
Colaboradora: Viviana, Genaro (VINTEC-UNER)

Fecha de iniciación y finalización efectivas

01/06/2023 y 31/05/2025

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 267/25 (29-08-2025)