



**UNIVERSIDAD
DE CÓRDOBA**

PROGRAMA DE DOCTORADO

Biociencias y Ciencias Agroalimentarias

TÍTULO DE LA TESIS

“Identificación y caracterización de los productos bioactivos presentes en los vinos cubanos de alta gama”

“Identification and characterization of bioactive products present in premium Cuban wines”

DIRECTORAS

Lourdes Moyano Cañete

María Pérez Serratos

AUTOR DE LA TESIS

Lázaro Núñez Cárdenas

FECHA DE DEPÓSITO TESIS EN EL IDEP

11 de marzo de 2022

TITULO: *IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS
BIOACTIVOS PRESENTES EN LOS VINOS CUBANOS DE ALTA
GAMA*

AUTOR: *Lázaro Nuñez Cárdenas*

© Edita: UCOPress. 2022
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



TÍTULO DE LA TESIS: Identificación y caracterización de los productos bioactivos presentes en los vinos cubanos de alta gama

DOCTORANDO: Lázaro Núñez Cárdenas

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

El doctorando Lázaro Núñez Cárdenas es Licenciado en Farmacia, obtuvo una beca de la asociación AUIP para la realización de la Tesis Doctoral, incorporándose al Grupo de Investigación para la realización de ésta dentro del Programa de Doctorado en Biociencias y Ciencias Agroalimentarias. El desarrollo de la Tesis Doctoral se ha realizado utilizando una metodología adecuada y haciendo uso de las técnicas instrumentales idóneas para culminar los objetivos previstos en el Plan de Investigación. La realización de la investigación recogida en la presente Memoria ha permitido al doctorando adquirir una sólida formación, adiestrándose en el manejo de técnicas instrumentales, tales como técnicas cromatográficas, tanto de gases como de líquidos. El doctorando ha cumplido con las tareas encomendadas para la realización del plan de investigación previsto, desde el diseño de los experimentos hasta la redacción de los artículos científicos publicados. Desde su incorporación al Programa de Doctorado ha estado muy implicado en el proyecto de Tesis, tomando decisiones sobre su proyecto y adaptándose a las complicaciones generadas de él y mostrando en todo momento una alta dedicación e interés, superando los niveles de calidad científica exigibles para la obtención del Grado de Doctor. Durante su formación ha realizado varios cursos de formación para complementar su labor investigadora. Realizó una estancia predoctoral en la Universidad de la Republica de Uruguay, donde trabajó en un grupo e investigación de alto reconocimiento internacional y trabajó con técnicas analíticas que ayudaron a su formación como investigador. Como consecuencia de su trabajo, ha publicado un artículo en una revista internacional de alto impacto indexada en JCR (Journal Citation Reports), y tiene otro en revisión, además ha presentado comunicaciones en congresos, tanto nacionales como internacionales. Esta tesis se considera que reúne las condiciones académicas exigidas por la legislación vigente para aspirar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 12 de enero de 2022

Firma de los directores

Fdo.: Lourdes Moyano Cañete

Fdo.: María Pérez Serratosa

En ocasiones es bueno aplaudirse uno mismo. Pocos conocen el sacrificio de lo que, en mi vida, he logrado.

A mis hijos Erika, Daniela e Ignacio.

A Lola, mi esposa.

Y a los que físicamente, por alguna razón, no están.

ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT.....	7
OBJETIVOS/OBJECTIVES.....	11
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	15
1. LA ZONA DE PRODUCCIÓN VITIVINICOLA CUBANA	17
2. LA VITIVINICULTURA ARTESANAL EN CUBA	18
3. MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA ELABORACIÓN DE VINOS TRADICIONALES CUBANOS.....	21
3.1. EL CULTIVO DE LA VID	21
3.2. EL CULTIVO DE FRUTAS TROPICALES	24
3.2.1. Frutabomba o papaya	24
3.2.2. Frutilla.....	26
3.2.3. Carambola o fruta estrella	26
3.2.4. Pitanga.....	27
3.2.5. Cerecita.....	28
3.2.6. Saúco	29
3.3. EL CULTIVO DEL ARROZ.....	30
3.4. LA CORTEZA DE EUCALIPTO	32
3.5. LA CORTEZA DE MANGLE	33
4. VINOS ELABORADOS CON DIFERENTES MATERIAS PRIMAS	35
4.1. VINOS ELABORADOS CON FRUTAS DE ÁRBOL	36
4.2. VINOS ELABORADOS CON FRUTOS ROJOS.....	36
4.3. VINOS ELABORADOS CON FRUTAS TROPICALES.....	39
4.4. VINOS ELABORADOS CON ARROZ	43
5. COMPUESTOS BIOACTIVOS	45
5.1. MINERALES	46
5.1.1. Calcio	47
5.1.2. Sodio	48
5.1.3. Potasio.....	48
5.1.4. Magnesio	49
5.1.5. Hierro	49
5.1.6. Cobre	50
5.1.7. Selenio.....	51
5.1.8. Zinc	51
5.1.9. Cadmio	52
5.1.10. Plomo	52

5.2. ELEMENTOS MINERALES EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ.....	53
5.3. AMINOÁCIDOS	56
5.3.1. Aminoácidos con grupos R apolares alifáticos.....	57
5.3.2. Aminoácidos con grupos R polares sin carga.....	58
5.3.3. Aminoácidos con grupos R cargados negativamente (ácidos)	58
5.3.4. Aminoácidos con grupos R cargados positivamente (básicos).....	58
5.4. Aminoácidos en vinos de frutas y arroz.....	59
5.5. COMPUESTOS FENÓLICOS	61
5.5.1. Compuestos fenólicos no flavonoideos	62
5.5.2. Compuestos fenólicos flavonoideos	64
5.5.3. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante	64
5.6. COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ	66
6. COMPUESTOS DEL AROMA.....	68
6.1. EL AROMA VARIETAL O PRIMARIO	69
6.1.1. Compuestos terpénicos.....	69
6.1.2. Las pirazinas.....	71
6.2. EL AROMA PREFERMENTATIVO	71
6.3. EL AROMA FERMENTATIVO.....	72
6.3.1. Alcoholes Superiores.....	73
6.3.2. Ésteres	73
6.3.3. Ácidos Volátiles	74
6.3.4. Aldehídos	75
6.3.5. Cetonas	75
6.3.6. Fenoles Volátiles	76
6.3.7. Lactonas	77
6.4. EL AROMA DE CRIANZA O TERCARIO.....	77
6.5. COMPUESTOS VOLÁTILES EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ.....	79
7. REFERENCIAS.....	80
CAPÍTULO II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	121
1. MUESTRAS DE VINOS	123
2. REACTIVOS	125
2.1. REACTIVOS EMPLEADOS EN LAS DETERMINACIONES GENERALES	125
2.2. REACTIVOS EMPLEADOS EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALES, AMINOÁCIDOS, CONTENIDO TOTAL DE POLIFENOLES, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS DEL AROMA	125
3. DETERMINACIONES GENERALES.....	126
3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).....	126

3.2. ACIDEZ TOTAL.....	126
3.3. ACIDEZ VOLÁTIL	126
3.4. GRADO ALCOHÓLICO VOLUMÉTRICO	127
4. DETERMINACIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS	127
5. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES	127
6. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDOS POR HPLC-DAD.....	128
6.1. DISOLUCIÓN MADRE DE PATRONES DE AMINOÁCIDOS	128
6.2. REACCIÓN DE DERIVATIZACIÓN.....	128
6.3. IDENTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDOS.....	128
7. CONTENIDO TOTAL DE POLIFENOLES.....	130
8. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	131
8.1. MÉTODO DPPH.....	131
8.2 MÉTODO ABTS	131
9. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS DEL AROMA	132
9.1. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN LIBRE DE COMPUESTOS DEL AROMA MEDIANTE EXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA	132
9.2. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS DEL AROMA MEDIANTE EXTRACCIÓN EN ESPACIO DE CABEZA.....	133
10. ANÁLISIS SENSORIAL.....	134
11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	134
12. REFERENCIAS.....	135
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE VINOS CUBANOS.....	137
1. INTRODUCCIÓN	139
2. DETERMINACIONES GENERALES.....	140
3. DETERMINACIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS	143
4. ANÁLISIS SENSORIAL.....	145
4.1. FASE VISUAL.....	146
4.2. FASE OLFATIVA.....	149
4.3. FASE GUSTATIVA.....	153
5. CONCLUSIONES	155
6. REFERENCIAS.....	156
CHAPTER IV. BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF CUBAN WINES.....	161
1. INTRODUCTION	163
2. MINERAL COMPOSITION	163
3. AMINO ACID COMPOSITION	165
4. TOTAL PHENOLICS CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY	169

5. CONCLUSIONS.....	172
6. REFERENCES	172
CAPÍTULO V. COMPOSICIÓN AROMÁTICA DE VINOS CUBANOS.....	177
1. INTRODUCCIÓN	179
2. COMPUESTOS DEL AROMA.....	180
2.1. ALCOHOLES SUPERIORES.....	182
2.2. ÉSTERES	184
2.3. COMPUESTOS FENÓLICOS	186
2.4. ÁCIDOS	188
2.5. ALDEHÍDOS	190
2.6. TERPENOS	192
2.7. CETONAS.....	193
2.8. LACTONAS.....	195
3. CONCLUSIONES	196
4. REFERENCIAS.....	196
CAPÍTULO VI. HUELLA AROMÁTICA DE VINOS CUBANOS.....	203
1. INTRODUCCIÓN	205
2. SERIES AROMÁTICAS	206
2.1. SERIE FRUTAL.....	210
2.2. SERIE ESPECIADA	212
2.3. SERIE VEGETAL.....	214
2.4. SERIE GRASA.....	217
2.5. SERIE FLORAL.....	218
2.6. SERIE QUÍMICA.....	220
2.7. SERIE EMPIREUMÁTICA	222
2.8. SERIE BALSÁMICA.....	223
3. HUELLA AROMÁTICA DE LOS VINOS.....	223
4. CONCLUSIONES	226
5. REFERENCIAS.....	226
CHAPTER VII. DEVELOPED OF ANALYTICAL METHOD BY RP-HPLC OPA FOR AMINO ACIDS DETECTION IN WINE.....	231
1. INTRODUCTION	233
2. MATERIAL AND METHODS	234
2.1. REAGENTS	234
2.2. SAMPLES	234
2.3. SAMPLE PREPARATION	235

2.4. HPLC SOLUTIONS PREPARATION.....	235
2.5. CHROMATOGRAPHIC EQUIPMENT AND PARAMETERS	236
2.6. METHOD VALIDATION	236
2.7. STATISTICAL ANALYSIS	237
3. METHOD VALIDATION.....	237
4. CONCLUSIONS.....	243
5. REFERENCES	243
ANEXOS.....	247

RESUMEN/ABSTRACT

RESUMEN

El presente trabajo pretendía obtener información referente a las características generales, compuestos aromáticos y de algunos compuestos bioactivos presentes en los principales tipos de vinos cubanos elaborados con diferentes materias primas. El estudio se concreta en la caracterización de diez vinos cubanos de alta gama, elaborados a partir de uvas, frutas tropicales y arroz. Para ello, se llevó a cabo la determinación de parámetros fisicoquímicos, de aminoácidos y minerales, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante, así como la determinación de metabolitos del aroma y huella aromática. La composición de aminoácidos se determinó por HPLC. Se identificaron y cuantificaron veintiún aminoácidos, detectándose Asp y Glu en todos los vinos. La mayor concentración de contenido de aminoácidos totales se encontró en los vinos elaborados a partir de uva Cimarrona; sometida a maceración con hollejos, mientras que el vino de uva mezcla pasificada presentó los valores más bajos. Los compuestos fenólicos totales se cuantificaron por el método de Folin Ciocalteu y la capacidad antioxidante por los ensayos DPPH y ABTS, observándose los mayores valores en los vinos tratados con el hongo *Botrytis* y en los vinos elaborados con uvas Aramón/Parra y arroz tostado. Los minerales cuantificados estuvieron dentro del rango de cantidades límites aceptables según la recomendación de la OIV. No se pudo observar claramente ninguna separación estadística mediante el análisis multivariante de componentes principales; sin embargo, se podrían definir 3 grupos de vinos teniendo en cuenta las puntuaciones del PC1. Por último, se realizó el análisis de compuestos del aroma de estos vinos, utilizando dos técnicas de extracción diferentes. Mediante extracción en fase sólida se obtuvieron los compuestos libres y mediante espacio de cabeza se obtuvieron los metabolitos volátiles responsables de la huella aromática de estos vinos. Dicha huella aromática, se obtuvo realizando el cálculo de los valores de actividad odorante de cada uno de los odorantes y posterior agrupación en series aromáticas por similitud en cuanto a su descriptor aromático. Las principales series responsables del aroma de estos vinos fueron frutal, especiada, vegetal, grasa y floral. Además, por primera vez se reporta en vinos cubanos, la presencia de concentraciones significativas de alcoholes, lactonas, cetonas, terpenos, norisoprenoides y una variedad de fenoles volátiles.

ABSTRACT

The aim of the present work was to obtain information regarding the general characteristic, aromatic compounds and some bioactive compounds present in the main types of Cuban wines elaborated from different raw materials. The study is specified in the characterization of ten high-end Cuban wines, elaborate from grapes, tropical fruits, and rice. For this purpose, the determination of physicochemical parameters, amino acids and minerals, total phenolic compounds and antioxidant capacity, as well as the determination of aroma metabolites and aromatic fingerprint were carried out. The amino acid composition was determined by HPLC. Twenty-one amino acids were identified and quantified, detecting Asp and Glu in all the analyzed wines. The highest concentration of total amino acid content was found in wines from Cimarrona grapes, subjected to maceration with skins, while the raisined mixed grape wine presented the lowest values. The total phenolic compounds were quantified by the Folin Ciocalteu method and the antioxidant capacity by the DPPH and ABTS tests, observing the highest values in the wines treated with the *Botrytis* fungus and in the wines made with Aramón/Parra grapes and toasted rice. The quantified minerals were within the range of acceptable limit quantities according to the OIV recommendation. No statistical separation could be clearly observed by multivariate principal component analysis; however, 3 groups of wines could be defined considering the PC1 scores. Finally, the aroma compounds analysis of these wines was carried out, using two different extraction techniques. By means of solid phase extraction the free compounds were obtained and by means of headspace the volatile metabolites responsible for the aromatic imprint of these wines were obtained. The aromatic footprint was obtained by calculating the odorant activity values of each of the odorants and subsequent grouping into aromatic series by similarity in terms of their aromatic descriptor. The main series responsible for the aroma of these wines were fruity, spicy, vegetable, fat and floral. Furthermore, for the first time the presence of significant concentrations of alcohols, lactones, ketones, terpenes, norisoprenoids and a variety of volatile phenols is reported in Cuban wines.

OBJETIVOS/OBJECTIVES

OBJETIVOS

En las últimas décadas Cuba se ha convertido en un importante productor de vinos elaborados a partir de una gran gama de materias primas, alcanzando un gran interés internacional. Se elaboran vinos obtenidos a partir de diferentes variedades de uvas, frutas tropicales (papaya, piña, naranja, fruta bomba, guanábana, mango, cerezas, entre otras), cereales (arroz, maíz, trigo y avena) e incluso legumbres (chicharos y garbanzos). Estos vinos pueden presentar variadas tonalidades, así como distintos grados de dulzor, debido a los diferentes procesos de vinificación empleados.

Sin embargo, aunque el número de publicaciones relacionados con vinos de frutas y cereales ha aumentado considerablemente, no se tiene constancia de estudios que evalúen las principales características químicas y sensoriales de estos vinos cubanos. En este sentido se seleccionaron 10 vinos cubanos de alta gama, elaborados a partir de uvas, frutas tropicales y arroz para su estudio.

El presente trabajo de Tesis Doctoral se planteó en base a los siguientes objetivos:

General

- Caracterización fisicoquímica y sensorial de vinos cubanos seleccionados.

Específicos:

- ✓ Evaluar los parámetros enológicos de calidad de los vinos cubanos.
- ✓ Caracterización sensorial visual, olfativa y gustativa de los vinos cubanos.
- ✓ Cuantificación de elementos minerales, aminoácidos y polifenoles totales y su relación con la actividad antioxidante de los vinos cubanos.
- ✓ Cuantificación de los compuestos del aroma de los vinos cubanos.
- ✓ Determinación de la huella aromática de cada vino cubano mediante la obtención de los valores de actividad odorante de metabolitos volátiles.

OBJECTIVES

In recent decades Cuba has become an important producer of wines made from a wide range of raw materials, reaching a great international interest. Wines are made from different varieties of grapes, tropical fruits (papaya, pineapple, orange, pump fruit, soursop, mango, cherries, among others), cereals (rice, corn, wheat and oats) and even legumes (peas and chickpeas). These wines can present varied tonalities, as well as different degrees of sweetness, due to the different winemaking processes employed.

However, although the number of publications related to fruit and cereal wines has increased considerably, there is no evidence of studies that evaluate the main chemical and sensory characteristics of these Cuban wines. In this sense, 10 high-end Cuban wines made from grapes, tropical fruits and rice were selected for study.

The present Doctoral Thesis work was based on the following objectives:

General

- Physicochemical and sensory characterization of selected Cuban wines.

Specific

- ✓ To evaluate the oenological parameters of quality of Cuban wines.
- ✓ Visual, olfactory and taste sensory characterization of Cuban wines.
- ✓ Quantification of mineral elements, amino acids and total polyphenols and their relationship with the antioxidant activity of Cuban wines.
- ✓ Quantification of aroma compounds of Cuban wines.
- ✓ Determination of the aromatic fingerprint of each Cuban wine by obtaining the odorant activity values of volatile metabolites.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. LA ZONA DE PRODUCCIÓN VITIVINICOLA CUBANA

Cuba, cuyo nombre oficial es la República de Cuba, comprende los 19°49' y los 23°16' de latitud norte y los 74°08' y los 84°57' de longitud oeste, del meridiano de Greenwich; lo que la ubica al norte del Mar Caribe y al sur del Trópico de Cáncer. Cuba es un archipiélago formado por las islas denominadas de las Antillas y de la Juventud, así como 4.195 cayos, y diversos islotes. Su longitud es de 1.250 km desde el Cabo de San Antonio, al oeste, hasta la Punta de Maisí, su extremo oriental, y tiene una anchura que varía entre los 32 y los 210 kilómetros; su mayor anchura la alcanza en la región oriental y el punto más estrecho en la zona occidental. Además, cuenta con unos 4.000 km de costas y posee tres grandes sistemas montañosos: la Sierra de los Órganos, la Sierra del Escambray y la Sierra Maestra; esta última, ubicada en el sureste del país, es la de mayor altitud y extensión, y en ella se encuentra el pico Real del Turquino (2.005 m), el más alto de Cuba.

Esta Isla está dividida en 15 provincias y 168 municipios. Las provincias son: Camagüey, Ciego de Ávila, Cienfuegos, La Habana, Granma, Guantánamo, Holguín, Las Tunas, Matanzas, Pinar del Río, Sancti Spiritus, Santiago de Cuba, Villa Clara, Mayabeque y Artemisa (Figura 1.1).



Figura 1.1. Archipiélago de Cuba.

El clima de Cuba se define como tropical, estacionalmente húmedo, con influencia marítima y rasgos de semi continentalidad (Lecha *et al.*, 1994; Lima *et al.*, 2002a) . Sin embargo, este clima se ve modificado por diferentes factores como la acción de los vientos alisios del nordeste, la acción termorreguladora del mar, las corrientes marítimas cálidas del golfo y la acción permanente del anticiclón del Atlántico Norte, entre otros. Las temperaturas son prácticamente uniformes durante todo el año, con veranos cálidos y lluviosos e inviernos secos y no muy fríos (Le Houèrou *et al.*, 1993). La temperatura media anual es de 24.8 °C, si bien los valores medios del mes más cálido (julio) y del mes más frío (enero), son respectivamente es de 27.2 °C y 21.8 °C (Iturralde-Vinent, 2015). Sin embargo, estudios realizados durante las últimas décadas (Lapinel *et al.*, 2006; Naranjo & Centella, 1999), han detectado importantes variaciones en las características de la influencia anticiclónica sobre Cuba, lo que desfavorece los

mecanismos productores de precipitación, principalmente en el período estacional lluvioso originando periodos persistentes de sequía (Lapinel *et al.*, 2006).

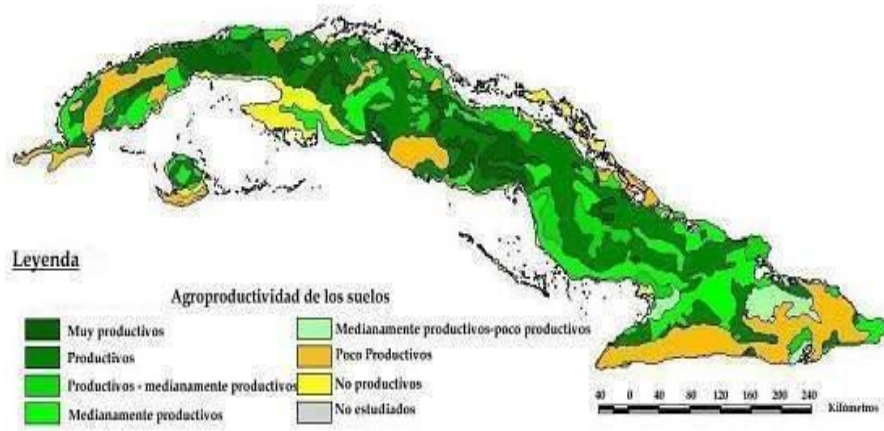


Figura 1.2. Agro productividad de los suelos cubanos.

Debido a la compleja situación geológica y geomorfológica que dio origen al archipiélago, en Cuba existen 14 tipos de suelos, siendo los que más superficie ocupan los pardos, los ferralíticos y los vertisoles (Martínez-Ramírez *et al.*, 2017). En un país predominantemente agrícola como Cuba, el recurso suelo tiene un lugar preponderante, siendo uno de los factores más favorables para la economía del país el hecho de que el 60% de los suelos son agrícolas y del 40% restante la mitad puede utilizarse con fines pecuarios o forestales (Figura 1.2). Sin embargo, en Cuba, los suelos presentan afectaciones severas y aproximadamente entre el 60-70% de los suelos presentan bajos contenidos de materia orgánica, lo cual es uno de los limitantes más importantes para el desarrollo de cultivos (Oficina Nacional de Estadísticas, 2006).

La agricultura cubana está organizada en los sectores estatal y no estatal, perteneciendo al primero las Empresas Estatales (EE), y al sector no estatal, las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), las Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), las Cooperativas de Crédito y Servicios (CCS) y los productores privados (campesinos individuales). La mayor superficie agrícola neta y cultivada está en manos del sector no estatal, especialmente las UBPCs y las CCSs y productores privados. Esto es debido a la política agraria del país en los últimos años, que ha descentralizado la propiedad de las tierras. Además, el reciente movimiento de la Agricultura Urbana, basado en la producción cooperativa ocupa el 12% de las áreas de producción del país. Por último señalar que los cultivos que ocupan una mayor área en los diferentes sistemas de producción son la caña de azúcar, el café, el arroz, los cultivos varios y los cítricos y frutales varios (FAO, 2007).

2. LA VITIVINICULTURA ARTESANAL EN CUBA

Los españoles introdujeron en Cuba diferentes cultivos originarios de diversas regiones del mundo, entre los que destacan la caña de azúcar, el arroz, frutas, especias y gran

variedad de leguminosas. Poco a poco se introdujo su modelo de alimentación, reforzado además con la importación de productos como el vino, el aceite y la harina de trigo (Núñez & González, 1999). Desde los primeros tiempos de la colonia se intentó introducir diversas variedades europeas de vid; sin embargo, los intentos fueron fallidos debido a las enfermedades que aparecían en la plantación, a causa del clima húmedo y cálido (Sosa, 2017). Ante la carencia de la uva, los productores locales adaptaron las fórmulas de elaboración con frutas tropicales como el marañón, la piña, la frutabomba (papaya), la guayaba y el tamarindo, este último típico de la provincia central de Villa Clara. Se elaboraban vinos de casi todas las frutas, pero el que más se popularizó fue el de naranja agria, y en algunas zonas los de calabaza, maíz y arroz. Era costumbre beber estos vinos mezclados con agua como prevención contra el cólera *murbus* (Sarmiento, 2002) y, se reservaba para las fiestas y ceremonias el vino de palma, tradición que fue introducida por los esclavos africanos procedentes del África occidental donde este vino era un producto comercial de primer orden. Además, los españoles residentes en Cuba consideraban al vino un complemento dietético indispensable, siendo las importaciones de vino español, una de las fuentes de ingresos más significativas de la época colonial. Se apreciaban y consumían los vinos andaluces, riojanos y manchegos; el denominado vino catalán, de precio muy barato, y el Málaga dulce eran consumidos por todas las clases sociales (Sarmiento, 2002).

Posteriormente, la nacionalización de las empresas eliminó casi en su totalidad la producción vinícola privada cubana y los toneles fueron redistribuidos a empresas productoras de ron; por lo que el cultivo mayoritario pasó a ser el de la caña de azúcar. Sin embargo, la tradición de elaborar vino artesanal se mantuvo de forma familiar. Posteriormente, la viticultura artesanal de algunas ciudades resurgió debido principalmente a la creación en 1993 de la “Coordinadora Nacional de Clubes de Vinicultores de Cuba (CNCVC)” y la aparición, entre las actividades permitidas para ejercer el trabajo por cuenta propia, de la figura jurídica “Elaborador-vendedor de vinos” (Gaceta oficial de Cuba, 2019). También contribuyó al impulso de estos vinos la celebración anual de los “Festivales Nacionales de Clubes de Vinicultores” (Sosa, 2017).

Los Clubes de Vinicultores son considerados un elemento de la identidad cultural cubana donde se desarrollan prácticas tecnológicas interactivas de Viticultura Artesanal Urbana (Sosa, 2017). El primer Club en el país surgió en Cabaiguán, provincia de Santi Spiritus, en 1971, zona de alta concentración de descendientes españoles. Actualmente existen 32 Clubes repartidos por todo el país, que agrupan a 714 vinicultores los cuales además de divulgar la cultura, la historia y la elaboración de vinos cubanos, realizan innovaciones tecnológicas relacionadas con la conservación de las frutas, la clarificación y el embotellado de los vinos, entre otros aspectos del proceso productivo (Goldaráz-Álvarez, 2010). Generalmente, los vinos cubanos se encuadran en ocho categorías: vino blanco, rosado, tinto, espumoso, seco, semisecco, dulce y semidulce, siendo los dos últimos los que se producen a mayor escala ya que poseen una mayor aceptación (Goldaráz-Álvarez, 2010; Noda-Alonso, 2016).

Entre los Clubes cubanos destacan los siguientes por la calidad de sus vinos; los cuales, han sido reconocidos con diferentes premios en simposios y certámenes nacionales e internacionales:

- *El Club de Vinicultores Artesanos de Camagüey*. En esta zona se elaboran vinos de las ocho categorías anteriormente citadas, si bien destacan por su calidad los vinos tipo seco, semiseco, tinto y dulce, todos elaborados a base de uvas y pasas; así como los vinos semidulces elaborados con frutas, blanco (de uva y pera china), rosado (uva) y espumoso (fruta bomba) y el vino blanco de caña. Los vinos camagüeyanos sensorialmente se caracterizan por la brillantez, transparencia, color, finura, intensidad y aroma.



Figura 1.3. Vino tinto, blanco y rosado elaborado por vinicultores del Club de Sancti Spiritus.

- *El Club de Vinicultores de Sancti Spiritus*. Fue creado en la década del 90 con productores de los municipios de Cabaiguán y Taguasco. En total suman unos 40 productores reconocidos y, aunque al principio la mayoría de ellos sólo elaboraban vinos de uvas, en la actualidad también utilizan frutas tropicales como la guayaba, frutabomba, naranja, piña, marañón, carambola y tamarindo (Figura 1.3).

- *El Club de Vinicultores de Holguín*. Los miembros de este Club elaboran una gran variedad de tipos de vinos (Figura 1.4), pueden ser blancos, rosados y tintos y según el contenido en azúcares, elaboran tanto vinos secos como semisecos, dulces o semidulces. Como materia prima, además de caña, marañón, frutabomba, uva, piña, tamarindo, cereza y ciruela, utilizan flores de majagua, romerillo, rosa y mar pacífico, así como raíces de jengibre picante y dulce, y de un arbusto identificado popularmente como garañón. Estos vinos son sometidos a un proceso de crianza con varias decantaciones sucesivas. Tras la primera se desechan los residuales de las frutas y a continuación se clarifica con clara de huevo. Tras el segundo decante el vino es filtrado y posteriormente embotellado. Entre los más antiguos se encuentran un vino de naranja del 1986, y otros de tamarindo y uva de hasta 15 años y que mantienen sus propiedades. Entre las elaboraciones más novedosas destacan el vino tinto elaborado con uva y sauco y un singular vino artesanal de moras con un elevado contenido en antioxidantes. Este vino se obtiene a partir de la maceración de los pequeños frutos de la especie *Rubus*; que se ha adaptado a los suelos arcillosos y al clima tropical.



Figura 1.4. Muestra de vinos elaborados por el Club de vinicultores de Guayado (Holguín).

- *El Club de Vinicultores de Ciego de Ávila*. Este Club se fundó en 1985 y lo integran



Figura 1.5. Elaboración de vinos tradicionales en Ciego de Ávila.

32 productores de vinos, quienes de forma ancestral elaboran vinos utilizando frutas tropicales, principalmente, guayaba, piña, naranja y fruta bomba, entre otras (Figura 1.5). En los últimos años, en esta zona se elaboran además vinos de manzana, pasas, peras chinas, uvas parras y capulín (cereza de monte), los cuales están obteniendo numerosos premios en los certámenes nacionales.

3. MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA ELABORACIÓN DE VINOS TRADICIONALES CUBANOS

Actualmente, en Cuba se producen vinos artesanales a partir de la fermentación de diferentes materias primas: uvas, frutas tropicales (guayaba, piña, naranja, fruta bomba, guanábana, mango, cerezas, entre otras), cereales (arroz, maíz, trigo y avena), legumbres (chicharos y garbanzos) e incluso los frutos de algunas especies de cactus. Todas ellas aprobadas por el Laboratorio Central de la Industria Alimenticia.

A continuación, se exponen las características de los cultivos de las diversas materias primas empleadas para la elaboración de vinos artesanales cubanos.

3.1. EL CULTIVO DE LA VID

La vid (*Vitis vinífera* L.) se cultiva en la actualidad tanto en zonas frías como en regiones cálidas de todo el mundo, Europa, California, Chile, Australia, Suráfrica, Argentina, etc. (Mas *et al.*, 1994). En Cuba, existen plantaciones de viñas desde el siglo XVIII, aunque actualmente la información sobre el cultivo de la vid es bastante escasa (Pérez *et al.*, 2012a y 2012b). Según estos autores la vid ha encontrado condiciones favorables para su desarrollo en Cuba, aunque es necesario un control exhaustivo de enfermedades y plagas. En Cuba se distinguen tres regiones o zonas vitícolas bien diferenciadas de acuerdo con las características del clima y tipología del suelo (Figura 1.6).

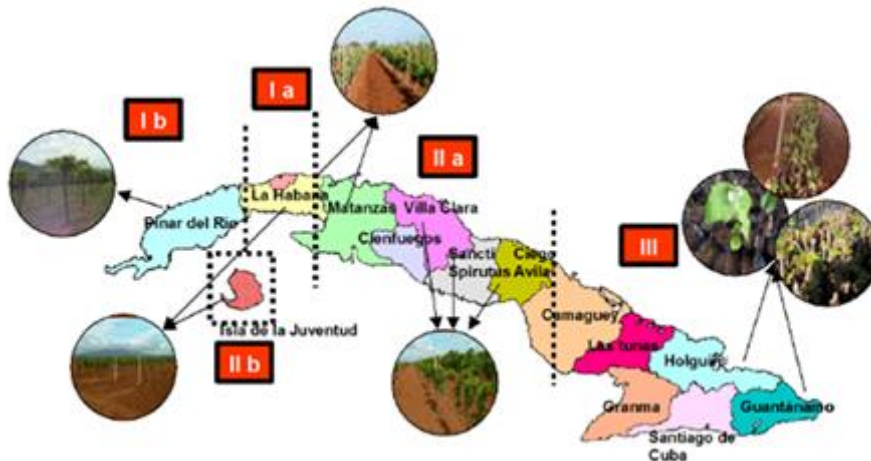


Figura 1.6. Regiones o zonas vitícolas de Cuba: Ia y IIa, suelo ferralítico; Ib y IIb, suelo alítico; III, suelo pardo sialítico (Pérez *et al.*, 2012a).

- Región o zona I: la relación pluviometría/evaporación es superior a la media y se diferencian dos subzonas (a y b) según el tipo de suelo. La subzona Ia corresponde a suelos ferralíticos/arcillosos (pH entre 5.5-6.5) que predominan en la provincia de La Habana y la Ib a suelos alíticos/arenosos ($\text{pH} \leq 5$), en Pinar del Río.

- Región o zona II: presenta una relación pluviometría/evaporación similar a los valores medios del país. Se diferencian dos subzonas según la tipología del suelo, la IIa son suelos ferralíticos/arcillosos y corresponde a la parte central de la isla y, la IIb son suelos alíticos/arenas ácidas que se encuentran principalmente en la Isla de la Juventud.

- Región o zona III: la relación pluviometría/evaporación está por debajo de la media alcanzada en el país y los suelos predominantes son pardos sialíticos carbonatados. Corresponde a la zona oriental del país.

En estas zonas se han plantado tradicionalmente variedades de vid tolerantes a las condiciones climatológicas del trópico, para consumo en fresco y producción de vinos artesanales. En estas regiones tropicales la vid puede producir más de una cosecha al año, ya que tiene un crecimiento vegetativo ininterrumpido, lo que se ve favorecido por la presencia de temperaturas del aire elevadas. Este hecho da como resultado una aceleración del ciclo de la vid, sobre todo en el periodo que va desde la brotación hasta el cambio de color de las bayas.

En Cuba existen diversas variedades tradicionales, entre las que destacan las conocidas como uva “Cimarrona”, “Aramón” y “Caleta”. Además, en la provincia de Cienfuegos, en plena montaña, se cultiva un tipo de uva que crece silvestre, la *Vitis caribbeana*, llegada a la isla desde Sudamérica, presuntamente a través de la migración de aves.

La variedad de uva Cimarrona (*Vitis tiliaefolia*), es conocida vulgarmente como uva parra o parra cimarrona (Figura 1.7), es una planta trepadora que se caracteriza por su alta producción de racimos de pequeñas bayas de forma globosa, con un diámetro



Figura 1.7. Variedad de uva Cimarrona.

próximo a los 10 mm. Los frutos son de color púrpura a negro, con alto contenido de azúcares (24-25 °Brix). Las hojas son de tipo reniforme y de color verde intenso. Esta variedad está ampliamente distribuida en el país, mayoritariamente en el municipio de Yateras, Guantánamo y en la parte central de Cuba (Rodríguez & Sánchez, 2005), siendo muy resistente a las principales plagas y enfermedades del cultivo en Cuba (de la Fé *et al.*, 2001).

La *Vitis vinifera* L. cv. Aramón (Figura 1.8), también conocida como Aramond, es la variedad predominante en las localidades de Batabanó y en Güira de Melena. Es considerada una variedad de alto rendimiento en las condiciones de Cuba, dado por su abundante formación de racimos de hasta 25 cm de largo con 2.0-2.5 Kg de peso y



Figura 1.8. Variedad de uva Aramón.

abundante formación de bayas por racimos; con un diámetro de 20-25 mm, que le dan una consistencia compacta y contenidos de Brix entre 15° y 18°. Las bayas presentan un hollejo muy fino y el color oscila entre verde a morado claro e incluso puede llegar al negro, siendo este el color que presentan las bayas cuando están maduras; aunque la distribución del color de los frutos en el racimo no es totalmente uniforme, debido a la diferente velocidad de maduración (de la Fé *et al.*, 2001).

A partir del 2001 se introdujeron en el país cultivares de vinificación y de mesa injertados sobre patrones americanos, con el objetivo de fomentar plantaciones a mayor escala. Entre los cultivares para vinificación se han introducido diferentes variedades tintas (Cabernet Sauvignon, Syrah, Tempranillo, Mencia, Merlot, Monastrell, Pinot Noir) y blancas (Albariño, Chardonnay, Doña Blanca, Godello, Sauvignon Blanc, Moscatel, Riesling, Viura) procedentes de España (Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical., 2011; Pérez *et al.*, 2012 a y 2012b).

Los sistemas de plantación de uva mayoritarios en Cuba son en parra o pérgola y en espaldera (Figura 1.9). La primera de ellas es una modalidad de cultivo urbano, muy extendida por todo el país y que se emplea tanto para la elaboración de vinos tradicionales como para consumo en fresco (Morales *et al.*, 2008). La segunda se emplea mayoritariamente en pequeñas extensiones de aproximadamente tres hectáreas de superficie (de la Fé *et al.*, 2001).



Figura 1.9. Sistema de cultivo en parra o pérgola y en espaldera.

3.2. EL CULTIVO DE FRUTAS TROPICALES

Las frutas tropicales son aquellas provenientes de una zona de clima tropical o subtropical. A veces son llamadas “frutas exóticas” en los países donde no se cosechan, por no poderse cultivar en ese medio. Estas frutas tienen en común no soportar el frío y cuando las temperaturas caen por debajo de los 4°C, pueden presentar notables daños organolépticos. El clima tropical, la fertilidad de los suelos e incluso la insularidad influyen en el dulzor, en la riqueza en vitaminas y en la textura de la diversidad frutal que atesora la isla de Cuba.

La mayoría de las frutas tropicales son consumidas crudas, si bien en Cuba la elaboración de bebidas fermentadas a partir de estas materias primas es una tradición ancestral. Las frutas tropicales tradicionalmente utilizadas para la elaboración de los vinos de frutas en Cuba son la papaya, la cereza, la carambola, la ciruela china y, la frutilla, entre otras (Hernández, 2010; Rodríguez & Sánchez, 2005). Desde 1997, el Grupo Nacional de la Agricultura Urbana ha tenido como objetivo determinar los indicadores de biodiversidad de los frutales en las unidades de producción agrícola de Cuba. A este respecto, Rodríguez y Sánchez (2005) han observado una riqueza inmensa de germoplasma de frutas, en su mayor parte no estudiado, llegando a ubicar 170 especies diferentes.

3.2.1. FRUTABOMBA O PAPAYA

La papaya (*Carica papaya*, L.) perteneciente a la familia *caricaceae*, conocida en Cuba con el nombre vulgar de “frutabomba” es originaria de América Central y su cultivo se caracteriza por ser productivo en corto tiempo y de forma continua durante todo el año (Posada, 2005). Es una planta herbácea arborescente (Figura 1.10), de rápido crecimiento y que puede alcanzar más de 5 m de altura, con períodos juveniles de cinco a seis meses y vida de hasta veinticinco años; no obstante, su eficiencia productiva como fruta fresca no va más allá de los cinco años (Jiménez-Díaz, 2002).

En Cuba, además de la variedad silvestre “papaya cimarrona” ubicada en zonas cercanas a las costas y en algunos cayos e islotos (Rodríguez-Nodals & Rodríguez-Manzano, 2000; Rodríguez & Sánchez, 2005), existen aproximadamente 4.994 ha plantadas mayoritariamente con cultivar mono varietal “Maradol”. Según el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI, 2005) las variedades comerciales que se utilizan en Cuba son: Maradol Roja, NICA III y Criolla y se estudian otras variedades introducidas tales como Tainung No.1, Tainung No.2, Tainung No.3, Know You y el híbrido Red Lady. Además, en los últimos años debido a que este cultivo está sujeto a serios riesgos relacionados, principalmente, con la incidencia de plagas y enfermedades se están introduciendo otros cultivares, Golden Solo, Sunset, Baixinho de Santa Amalia y BH-65 procedentes de las Islas Canarias (Alonso *et al.*, 2005, 2008).



Figura 1.10. Plantación de *Carica papaya* L. en Cuba.

Los frutos (Figura 1.11) poseen una textura suave y una forma de baya ovoide-oblonga, casi cilíndrica, grande, carnosa, jugosa, ranurada longitudinalmente en su parte superior. Es de color verde amarillento, amarillo, anaranjado o rojizo por dentro cuando



Figura 1.11. Frutos de *Carica papaya* L.

madura. Las semillas son de color negro, redondeadas u ovoides y encerradas en un arilo transparente, subácido. El peso promedio es de 1 kg, en una variedad de cultivo de plantas enanas, muy productivas. Sin embargo, algunos frutos pueden alcanzar hasta 60 cm de largo y 40 cm de diámetro y un peso de hasta 10 kg (DGCA, 2012) en dependencia de la variedad y edad de la planta. La variedad mayoritaria

“Maradol Roja” da frutos consistentes, con un peso promedio de 1.6 a 2.2 kg, de forma oblonga y pulpa roja, excelente sabor y alcanza alrededor de 11 °Brix.

La papaya o frutabomba es conocida por sus beneficios nutricionales y aplicaciones medicinales, por lo que es considerada una valiosa planta nutracéutica frutal. Destaca por el alto contenido en vitaminas A, C, B1, y B2, y en minerales como el calcio, fósforo, magnesio y hierro, entre otros. Además, ocupa el primer lugar en valoración nutricional entre 38 frutas comunes, según el porcentaje de la cantidad diaria recomendada en los Estados Unidos de vitamina A, vitamina C, potasio, folato, niacina, tiamina, riboflavina, hierro y calcio, además de fibra. También contiene una enzima, la papaína, que disuelve las grasas (Rodríguez & Sánchez, 2005). Su interés medicinal radica en que es eupéptico, coadyuvante de la cicatrización; antiinflamatorio, antihelmíntico y con excelentes propiedades antioxidantes (Lee *et al.*, 2005; Moret *et al.*, 2010).

3.2.2. FRUTILLA

Su nombre científico es *Pereskia aculeata* Mill., y pertenece a la familia Cactaceae por lo que generalmente se nombra con su sinonimia *Cactus pereskia* L. Sin embargo, la frutilla pasa desapercibida dentro de este género; ya que, por poseer hojas (Figura 1.12), no se asocia con el concepto de cactus. Otros nombres comunes utilizados en Cuba son



Figura 1.12. Planta trepadora de *Pereskia aculeata* Mill.

corona de novia, ramo de novia, guinda, tomate americano, tomate cimarrón o guamacho (Roig, 1988). Es un cactus trepador, procedente de América Tropical, que crece hasta los 10 m de altura en los árboles, con tallos de 2-3 cm de diámetro, aunque cuando joven es un pequeño arbusto. Los tallos jóvenes tienen espinas en forma de gancho y los tallos más viejos tienen grupos de espinas leñosas. Las hojas miden de 4-11 cm de largo y 1.5-4 cm de ancho, son simples, enteras, y de hoja caduca en la estación seca. Se encuentra disperso por todas las provincias de Cuba, sobre todo en patios. El fruto aflora entre junio y julio, es una baya redondeada que puede ser de diferentes colores, blanco translúcido, rosa, amarillo, naranja o rojo. Posee un diámetro de aproximadamente 2 cm, es de sabor agrídulce y con alto contenido en vitamina A. En la isla el fruto se utiliza mayoritariamente para elaborar refrescos, dulces, mermeladas y vino blanco (Agostini-Costa *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2012, 2015; Rosa & de Souza, 2003). Las flores son muy odorantes, es una planta melífera, de color blanco, crema o rosado, de 2.5-5 cm de diámetro, y producidas en panículas.

3.2.3. CARAMBOLA O FRUTA ESTRELLA

La carambola cuyo nombre científico es *Averrhoa carambola* L. pertenece a la familia Oxalidaceae y presenta otros nombres comunes como fruta estrella, ciruela china, averroa, pera china, tamarindo chino o grosella china. Es originaria de Asia, aunque



Figura 1.13. Árbol de *Averrhoa carambola* L.

está distribuida principalmente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Hernández, 2010; Rodríguez & Sánchez, 2005). En Cuba la carambola está dispersa en todas las provincias y es utilizada frecuentemente para hacer vinos dulces, encurtidos y en la decoración culinaria de platos debido a la forma de estrella que muestra cuando se corta.

y 3-6 cm de ancho. La forma de estrella es característica de este fruto debido a los 4-5 vértices o aristas longitudinales y redondeadas que siempre están presentes (Figura 1.14). La pulpa tiene color amarillo claro a oscuro, es crujiente y jugosa; el sabor varía desde muy ácido con poco azúcar (alrededor de 6 °Brix) a muy dulce (alrededor de 11 °Brix) con poca acidez cuando madura (Castillo & Cornejo, 2007; Litz & Griffis, 1989; Mateus-Cagua *et al.*, 2015; Patil *et al.*, 2010, 2019). En Cuba se han encontrado cultivares que difieren por el tamaño de los frutos y el grado de acidez, aunque aún no han sido identificados ni caracterizados científicamente (Fuentes-Fiallo, 2008).

La carambola es rica en vitamina A y C, los contenidos en vitamina C son similares al de los cítricos, también presentan cantidades significativas de carotenoides y compuestos fenólicos como: saponinas, alcaloides, flavonoides y taninos (Fuentes,



Figura 1.14. Frutos de *Averrhoa carambola* L.

2003, 2008; Gaštoł & Domagała-Świątkiewicz, 2012; Gilbert *et al.*, 2013; Leong & Shui, 2002; Liew-Abdullah *et al.*, 2007). Además, se ha reportado que la carambola presenta numerosas propiedades farmacéuticas, es antiinflamatorio, antimicrobiano contra bacterias Gram-positivas (*Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*), y Gram-negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Streptococcus typhimurium*). Es hipoglucemiante, antioxidante, debido al alto contenido en

compuestos fenólicos, hipocolesterolémico, hipolipidémico, anti-ulcerante debido a la presencia de triterpenos, flavonoides y mucílago y analgésico (Chau *et al.*, 2004; Das, 2012; Payal *et al.*, 2012; Shui & Leong, 2006). Por el contrario, el consumo de carambola por personas con enfermedad renal crónica, en especial en individuos en diálisis, ha demostrado una severa neurotoxicidad. Se ha comprobado que la intoxicación aguda por ingesta de esta fruta está relacionada con el alto contenido de oxalatos que presenta. Sin embargo, hasta la actualidad, no se ha identificado claramente la toxina responsable de la neurotoxicidad severa (Chang *et al.*, 2002; Liew-Abdullah *et al.*, 2007).

3.2.4. PITANGA

Existen dos arbustos de la familia Myrtaceae originarias de Brasil: *Eugenia uniflora* L., cerezo de cayena, conocida como “pitanga” y “Ñangapiri” (Dimitri, 1972) y *Eugenia punicifolia* (H. B. K.) DC., cerezo del pinar, conocida como “cereza” o “cercita”. La cercita se encuentra en los pinares de la parte más occidental de Pinar del Río y en la Isla de la Juventud (Rodríguez & Sánchez, 2005). La pitanga es un arbusto muy ramificado globoso, tomando a veces el tamaño y forma de un árbol pequeño. Sus hojas son opuestas, glabras, subsésiles, aovado-lanceoladas, de 2.5-5 cm de largo. Sus flores son blancas, de 1-1.5 cm de diámetro, dispuestas en largos pedúnculos axilares unifloros, fasciculados. La baya presenta una forma depreso-globosa, de 2-3 cm de diámetro, roja o purpúrea, con el pericarpio surcado longitudinalmente, formando costillas redondeadas (Figura 1.15). Procede principalmente de Sudamérica y Argentina (Bravi, 2018; Dimitri, 1972).



Figura 1.15. Frutos de *Eugenia uniflora* L. y *Eugenia punicaefolia* (H. B. K.) DC.

Sus frutos destacan por el alto contenido en vitaminas A y C, así como en calcio, hierro y fósforo. El jugo es adecuado para hacer sirope, compota, mermelada, jalea y vino. El extracto etanólico de frutos fue evaluado in vitro contra *Trypanosoma cruzi* demostrando que *E. uniflora* podría ser una fuente de productos naturales derivados de plantas con actividad anti-epimastigota y con baja toxicidad (Santos *et al.*, 2012). Además, autores como Bagetti *et al.* (2011), Bonat *et al.* (2011) y Vasconcelos *et al.* (2013) han demostrado que los flavonoides aislados de sus frutos presentan una alta actividad antioxidante. En Cuba el extracto coloreado es utilizado para el tratamiento de la gota y reuma, mientras que los aceites esenciales para desórdenes digestivos, siendo además eupéptico y carminativo (Rücker *et al.*, 1977). En esta línea de estudio, los aceites y extractos de *Eugenia uniflora* se han descrito como antimicrobianos, antifúngicos, antinociceptivos, antiprotozoarios, antioxidantes y citotóxicos. También son predominantes en estos aceites sesquiterpenos oxigenados e hidrocarburos sesquiterpénicos tales como curzereno, selina-1,3,7 (11)-trien-2-one, selina-1,3,7 (11)-trien-2-one epóxido, germacreno B, óxido de cariofileno y (E)-cariofileno (Figueiredo *et al.*, 2019). Algunos autores (Govaerts *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2002b; Rovedder *et al.*, 2016) indican que este fruto tiene un alto nivel económico y gran potencial farmacológico, que se evidencia por la explotación comercial de sus frutos comestibles y aceites esenciales.

3.2.5. CERECITA

Su nombre científico es *Malpighia emarginata* DC., pertenece a la familia Malpighiaceae y presenta varios nombres comunes: acerola, semeruco, cereza de Barbados, cerezo del país, cereza o cerecita. Es originaria de las Antillas Menores y Puerto Rico. Se encuentra por toda Cuba, principalmente en Yateras, Guantánamo, en la provincia Cienfuegos y en La Habana. Es un arbusto pequeño, muy valioso por su alto contenido en vitaminas C, A, tiamina, riboflavina y niacina. Las hojas son elípticas, ovales y abovadas, de 2-10 cm de largo por 1-6 cm de ancho, con el ápice obtuso o emarginado, de color verde oscuro en la parte superior y más claras en la parte inferior. Las flores presentan cinco pétalos unguiculados, de 6-10 mm de largo, cuatro son iguales y el quinto más grande y levantado, siendo su color rosado, violeta o blanco, según el clon o cultivar (Rodríguez & Sánchez, 2005). Presenta un fruto subglobuloso en forma de drupa, el cual posee tres semillas que representan entre el 19 y el 25% del peso total. El diámetro del fruto varía de 1 a 4 cm y el peso oscila entre 2 a 15 g. Presenta una coloración verde cuando está en desarrollo, cambiando a tonos amarillos y rojos cuando está maduro (Figura 1.16). La maduración ocurre en corto espacio de tiempo.

El período de fructificación es de 3 a 4 veces al año. Cada planta produce cerca de 20 a 30 kg de frutos anualmente (Mezadri *et al.*, 2006).



Figura 1.16. Frutos de *Malpighia emarginata* DC.

El fruto además de poseer un alto contenido en agua (91.1%), contiene proteínas, fibras y carbohidratos. Asimismo, presenta cantidades considerables de hierro, calcio, fósforo, betacaroteno, tiamina, riboflavina y niacina. Hay que destacar su elevado contenido en vitamina C (695 a 4827 mg/100 g). La acerola también contiene cantidades significativas de carotenoides y bioflavonoides, que le otorgan gran valor nutritivo y un uso potencial como antioxidante (Mezadri *et al.*, 2006; Rodríguez & Sánchez, 2005).

La cantidad de fenoles totales varía según el grado de madurez de la fruta, y depende también de factores externos como luz y temperatura (Righetto *et al.*, 2005). En cuanto al perfil fenólico de la acerola, Hanamura *et al.* (2005) identificaron dos antocianinas, cianidín-3- α -O-ramnósido (C3R) y pelargonidín-3- α -O-ramnósido (P3R), y quercetin-3- α -O-ramnósido (quercitrina). Además, autores como Vendramini & Trugo (2004), Mezadri *et al.* (2006) y Righetto *et al.* (2005) identificaron los siguientes compuestos en el fruto: ácido *p*-cumárico, ácido gálico, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido siríngico, kaempferol, quercetina, catequina, furfural, procianidina B1, galato de (-)-epigallocatequina, (-)-epicatequina y rutina. Vendramini & Trugo (2004) también identificaron en la piel de la acerola los antocianos malvidina 3,5-diglicosilada, cianidina 3-glicosilada y pelargonidina y proponen que la piel puede ser utilizada como fuente de pigmento natural.

Diversos estudios han demostrado que la acerola presenta actividad antioxidante basada en su capacidad de secuestrar radicales libres, siendo así adecuada para la prevención de enfermedades relacionadas con la edad, tales como hipertensión, distintos tipos de cáncer, arteriosclerosis e infarto de miocardio (Berliner & Heinecke, 1996; Hecht, 1997; Hwang *et al.*, 2000, 2001; Nagamine *et al.*, 2002).

3.2.6. SAÚCO

El *Sambucus nigra* L. pertenece a la familia Caprifoliáceas y presenta diversos nombres comunes: saúco americano, saúco común, sabuco, sabugueiro. La familia, caprifoliáceas comprende 16 géneros y unas 365 especies de importancia en la horticultura. El género *Sambucus* incluye unas 20 especies originarias de climas templados y subtropicales, aunque sólo, dos son las aceptadas como medicinales en Europa: el *Sambucus nigra* y el *Sambucus ebulus*. Originario del Perú, se encuentra distribuido entre las regiones templadas a subtropicales de ambos hemisferios (Hoffmann-Ribani *et al.*, 2009) El *Sambucus nigra* crece espontáneamente en climas templados y fríos, en terrenos húmedos a orilla de los ríos y es el que está más extendido en Cuba.



Figura 1.17. Frutos de *Sambucus nigra* L.

Es un arbusto de hoja caduca que alcanza hasta 6 m de altura, en desarrollo. Las flores son pequeñas, blancas, hermafroditas, en grandes corimbos, y florecen a principios del verano. El fruto es una drupita negra abayada, con 3 o más nueces de endospermo carnoso que madura a finales de verano (Figura 1.17). Las raíces superficiales tienen brotes aéreos. Los cultivares de saúco se plantan con diferentes fines ya que de la planta se aprovechan las hojas, flores, frutos (bayas) y corteza del tronco. Destaca el uso de los

extractos de flor de saúco como aromatizante en bebidas y alimentos (Christensen *et al.*, 2007; Laffita & Castillo, 2011).

Las bayas de saúco son ricas en vitamina C y en menor cantidad en vitamina A, contienen también pectina, compuestos flavonoicos (rutina e isoquercitina), pigmentos antocianósidos (crisantemina, sambucianina y sambucicianina), taninos, azúcares reductores y ácidos orgánicos (cítrico, málico, tartárico); los cuales son útiles como antiinflamatorios (Christensen *et al.*, 2007; Laffita & Castillo, 2011; Silva *et al.*, 2017). Además, el jugo de saúco, de un color morado intenso, es empleado en la elaboración de mermeladas, néctares, licores, vinos y yogures, siendo su alto valor comercial debido principalmente al elevado contenido en antocianinas y otros polifenoles (Dawidowicz *et al.*, 2006; Veberic *et al.*, 2009). Sin embargo, las bayas crudas y otras partes de las plantas son venenosas. Además, las semillas contienen glucósidos cianogénicos (generadores de cianuro) y la corteza, así como las hojas y los frutos no maduros contienen el principio de la sambunigrina que, en contacto con la enzima “emulsina”, produce ácido cianhídrico, un compuesto sumamente tóxico.

La especie *Sambucus nigra* ha sido utilizada globalmente con fines medicinales o como una fuente de suplemento dietético durante cientos de años. Tradicionalmente se ha consumido en jugos o infusiones para el tratamiento del estreñimiento, las infecciones diuréticas, del tracto respiratorio, en el tratamiento de la gripe y en las alergias (Barak *et al.*, 2001; Dawidowicz *et al.*, 2006; Lee & Finn, 2007; Shahsavandia *et al.*, 2017; Thole *et al.*, 2006). Además, varios estudios han demostrado que los extractos de saúco además de tener actividad antioxidante presentan efectos potenciales antiinflamatorios, inmunoestimulantes y quimiopreventivos (Thole *et al.*, 2006; Youdim *et al.*, 2000). Por lo tanto, los fitoquímicos de la baya del saúco pueden tener una acción importante en la prevención de varias enfermedades degenerativas, como las enfermedades cardiovasculares e inflamatorias, el cáncer y la diabetes (Fazio *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2017).

3.3. EL CULTIVO DEL ARROZ

Los cereales de mayor notoriedad en Cuba incluyen el arroz, que es el cereal más importante, el maíz, y en menor medida, el sorgo y el trigo. Este último, usado mayormente para la fabricación de piensos y para el consumo directo de los animales (FAO, 2007).

El arroz (*Oryza sativa* L. de la familia *Poaceae*) se considera originario del estado de Oryza en el noreste de India, sobre las laderas del Himalaya, y constituye un alimento básico en muchos países, en especial en la China, la India y en algunos países de América. Es el segundo cereal más producido en el mundo, detrás del maíz; conformando el cereal más importante en la alimentación humana y que contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de nuestra dieta actual; además es fuente de una quinta parte de las calorías consumidas a nivel mundial (FAO, 2018; Pincioli *et al.*, 2015). En la actualidad sus variedades se han diseminado por todo el mundo y están adaptadas a todos los ambientes, desde las altas montañas hasta la ribera de los ríos y desde el ecuador a altas latitudes en Sudamérica. Existen más de 40.000 variedades de arroz, la mayoría proviene de la subespecie del arroz asiático. En Cuba se cultivan alrededor de 37 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) de los cuáles sólo cuatro son variedades tradicionales (Figura 1.18) (MINAG, 2012; Pérez-León *et al.*, 2016). El cultivo del arroz en Cuba está generalizado en variados tipos de suelo y diferentes ecosistemas que van desde la siembra mecanizada con tecnologías avanzadas, hasta el método manual empleado por los pequeños productores. Las siembras se efectúan en cuatro grandes complejos agroindustriales ubicados en Pinar del Río, Sancti Spiritus, Camagüey y Granma, aunque en los últimos años ha tenido mucho auge la producción en el marco de las pequeñas propiedades rurales y urbanas como consecuencia del Programa Nacional de Popularización del Arroz.



Figura 1.18. Cultivar cubano de arroz *Oryza sativa* L. y, arroz cáscara y pulido obtenido.

En este programa tiene un peso importante la producción de variedades tradicionales cubanas de arroz (FAO, 2007; Fuentes *et al.*, 2003). Entre ellas destaca el cultivar J-104, que ocupaba hace una década la mayoría del área de siembra cubana; sin embargo, el incremento de plagas y enfermedades ha llevado a desarrollar estudios de variedades en granjas de producción estatal de tal forma que hoy en día se cultivan un amplio número entre las que se pueden citar variedades de ciclo medio (INCA LP-1, INCA LP-4, INCA LP-7 e IAC-29, Roana LP-15) y de ciclo corto (Anays LP-14, INCA LP-5 e INCA LP-6) (Pérez-León *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2012c).

El arroz es una excelente fuente de energía, debido principalmente a la alta concentración de almidón, proporcionando también proteínas, vitaminas y minerales, y tiene un bajo contenido de lípidos (Akihisa *et al.*, 2005; Walter *et al.*, 2008). Nutricionalmente, el arroz es rico en almidón, compuesto de amilosa y amilopectina, las cuales determinan las características del cereal. Contiene tiamina (Vitamina B1), niacina (vitamina B3) y ácido fólico (Vitamina B9) y minerales como el fósforo y el

potasio. Sin embargo, al realizar su refinamiento industrial, se pierde hasta el 50% de su contenido en minerales y el 85% de las vitaminas del grupo B, quedando reducido a un alimento principalmente energético (Pinciroli *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2008).

Estudios epidemiológicos recientes encontraron que la ingesta de granos de arroz integrales está relacionada con la prevención de enfermedades contra el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y la obesidad (Anderson, 2003; Rong *et al.*, 1997; Slavin, 2003; Xia *et al.*, 2003). Además, los componentes bioactivos principales y más característicos presentes en las capas externas de los granos de arroz contienen un complejo único de compuestos insaponificables, de los cuales el γ -oryzanol y la vitamina E han recibido el mayor interés. Se cree que estos compuestos están relacionados con la reducción del riesgo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Chen & Bergman, 2005; Cicero & Gaddi, 2001; Shin *et al.*, 1997; Xu & Godber, 1999).

Por otro lado, se ha comprobado que las variedades pigmentadas del arroz (*Oryza sativa* L), como el arroz negro, presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos en comparación con las variedades de arroz blanco (Yawadio *et al.*, 2007). Otros autores (Mira *et al.*, 2009) encontraron que el contenido fenólico total, fue cuatro veces mayor en el arroz pigmentado que en las variedades no pigmentado. Las variedades de arroz rojo y morado mostraron concentraciones de compuestos fenólicos totales y de flavonoides más elevada; así como una mayor actividad biológica respecto a las variedades de arroz de color claro (Min *et al.*, 2012; Shao *et al.*, 2014).

Recientemente, debido a una mayor conciencia sobre la importancia de los elementos minerales en la dieta humana, se ha prestado más atención a la mejora de las cualidades nutritivas de los principales cultivos de cereales como el arroz. En este sentido, muchos investigadores ya han estudiado la influencia de la variación genética del arroz en la composición en minerales del grano (Gregorio *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2004).

3.4. LA CORTEZA DE EUCALIPTO

El Eucalipto (*Eucalyptus* L' Her., Familia *Myrtaceae*) es un árbol originario de Australia (de la Lama, 1976) que se cultiva en todo el mundo (Figura 1.19). Desde el año 1929 se han introducido en Cuba 54 especies de eucaliptos estableciéndose plantaciones en pequeñas producciones, principalmente en las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Camagüey y Sancti Spiritus, entre otras zonas del país. De todos ellos las especies mejor adaptadas son *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus resinifera*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus brassii* (Mercadet *et al.*, 2001).

Según Goes (1977) la corteza puede representar del 15 al 23% del peso seco del fuste del árbol. En la actualidad son escasos los conocimientos sobre la anatomía, propiedades físicas y potencialidades de la corteza de eucalipto; lo que en muchos casos es la causa de la no utilización de este recurso como materia prima. En lo que se refiere a la composición química de la madera, hay que destacar que, junto a los dos componentes principales, lignina y celulosa, existe una gran variedad de componentes minoritarios tales como azúcares, almidón, resinas, ceras, polifenoles, aceites esenciales, minerales y “kinos” (materiales resinosos que contienen taninos) (Cadahia, 1995). Autores como Marquina *et al.* (2005) afirman, que la corteza de eucalipto permite encarar su utilización como una nueva fuente de material fibroso y de compuestos antioxidantes debido en este último caso a la presencia de fenoles y polifenoles muy característicos en estas especies.



Figura 1.19. Árbol de *Eucalyptus L' Her.*

Dentro del género *Eucalyptus* se da una gran variedad de tipos de corteza, aunque la mayor parte se pueden clasificar dentro de seis grupos principales: Teseladas (“Bloodwoods”), Lisas (“Gums”), Fibrosas (Boxest), de fibra corta y estrecha (“Peppermints”), de fibra larga (“Stringbarks”) y Oscuras, con grandes fisuras (“Ironbarks”).

3.5. LA CORTEZA DE MANGLE

En Cuba, el ecosistema manglar ocupa aproximadamente el 5% de la superficie del país y representa el 26% de la superficie boscosa por lo que tiene una gran importancia económica, ecológica y estratégica. La vegetación de manglar está representada en este país por varias especies arbóreas, donde predominan *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, catalogada esta última como pseudo mangle. Dentro de estas, la primera de las citadas es la especie dominante (Menéndez *et al.*, 2006; Suman, 1994).

R. mangle pertenece a la familia *Rhizophoraceae*, su nombre común es el de mangle rojo (Figura 1.20), es un arbusto o árbol con corteza astringente y puede alcanzar una altura de 10 m o superior (Regalado *et al.*, 2016). En Cuba las cortezas de Mangle se someten a un proceso de secado antes de su utilización, para alcanzar un contenido en humedad <15% antes de su uso. Según Pérez *et al.* (2011) se diferencian tres tipos de secado:

- Secado a la sombra: las cortezas se ubican en un lugar fresco, protegidas del sol y de la lluvia, a una temperatura media de 22 ± 4 °C durante un tiempo aproximado de 16 días.
- Secado al sol: las cortezas son expuestas al sol en el horario de 8:30 a 16:30, en días sin lluvia, a una temperatura media de 30 ± 3 °C durante un tiempo aproximado de 7 días.

- Secado en estufa: las cortezas son colocadas en una estufa a temperatura controlada de 50 ± 2 °C durante un tiempo aproximado de 36 horas.



Figura 1.20. Ecosistema manglar de *Rhizophora mangle*

Tradicionalmente, las cortezas de mangle rojo han sido utilizadas por sus propiedades terapéuticas; en esta línea autores como Roig (1988), Cáceres *et al.* (1993), Suman (1994) y Scull *et al.* (1998) destacan sus propiedades como hemostático, antifúngico, antiinflamatorio, entre otras. Otros estudios realizados por Melchor *et al.* (2001) y Sánchez *et al.* (2000) demostraron el efecto antimicrobiano (bacteriostático) del extracto acuoso de la corteza de *R. mangle*, frente a *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, etc. Además, Sánchez-Acosta (2006) y Singh *et al.* (2009) comprobaron, in vivo, la elevada actividad antioxidante del extracto acuoso, lo cual estaba estrechamente relacionada con el contenido en ácido gálico y ácido elágico presentes en el mismo. El contenido en taninos totales en extracto de cortezas secadas procedentes de mangle rojo cubano oscila entre 10.4-13.4 mg/mL (Pérez *et al.*, 2011).

4. VINOS ELABORADOS CON DIFERENTES MATERIAS PRIMAS

La vinificación es una de las tecnologías más antiguas del hombre, y actualmente uno de los procesos biotecnológicos más prósperos comercialmente (Moreno-Arribas & Polo, 2005). La técnica de vinificación se conoce desde los albores de la civilización y ha seguido el progreso humano y agrícola (Chambers & Pretorius, 2010). En la antigua China, las bebidas fermentadas se producían habitualmente a partir de arroz, mijo y frutas. Sin embargo, ya en años anteriores en Egipto, se añadían hierbas y resinas de árboles con vino de uva para preparar los denominados vinos medicinales (McGovern *et al.*, 2004, 2009).

Según el Código Internacional de Prácticas Enológicas (OIV, 2008) el vino se define, exclusivamente, como “la bebida resultante de la fermentación alcohólica, completa o parcial, de uvas frescas, estrujadas o no, o de mosto de uva. Su contenido en alcohol adquirido no puede ser inferior a 8.5% vol. No obstante, teniendo en cuenta las condiciones del clima, del suelo o de la variedad, de factores cualitativos especiales o de tradiciones propias de ciertas regiones, el grado alcohólico total mínimo podrá ser reducido a 7% vol. por una legislación particular en la región considerada”.

Actualmente, son numerosos los autores que utilizan un prefijo (en inglés) a la palabra vino para indicar la materia prima con la que está elaborado: “*fruit wine*”, “*rice wine*”, también pueden tener sabores o aromas adicionales procedentes de flores, hierbas y frutas. Por razones históricas, hidromiel, sidra de manzana o de pera están excluidos de la definición de vino de frutas (Duarte *et al.*, 2010). Los llamados vinos de frutas (“*non-grape fruit wines*”) son bebidas alcohólicas fermentadas elaboradas con una gran variedad de frutas (diferentes a las uvas). En este tipo de vinos si la fruta empleada no contiene suficiente azúcar natural para fermentar por sí sola en presencia de levadura, es posible adicionar azúcar para estimular el proceso de fermentación (Karthikeyan *et al.*, 2015). Entre las levaduras comúnmente empleadas destaca la especie *S. cerevisiae* que es capaz de convertir el azúcar de jugos de frutas como el plátano, la piña, la manzana, la pera, la fresa, la cereza, la ciruela, la naranja, la sandía y la guayaba en alcohol y ácidos orgánicos, que luego reaccionan para formar aldehídos, ésteres y otros compuestos químicos que también ayudan a preservar este tipo de vino (Obaedo & Ikenebomeh, 2015). Varios autores como Ayogu (2016), Chilaka *et al.* (2010) y Yabaya *et al.* (2016), han empleado levaduras aisladas del vino de palma de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* en la producción de diversos vinos de frutas ya que presenta una alta tolerancia al etanol, propiedad única de la levadura que la hacen explotable para aplicaciones industriales.

Los vinos de frutas han sido tradicionalmente populares entre los llamados “enólogos caseros”; sin embargo, actualmente muchas bodegas de diferentes países producen este tipo de vinos ya que al ser un producto fermentado y sin destilar a base de fruta, el vino contiene la mayoría de los nutrientes presentes en el jugo de la fruta original. Además, el valor nutritivo de este tipo de vinos aumenta debido a la liberación de aminoácidos y otros nutrientes de la levadura durante la fermentación. A continuación, se exponen brevemente algunas características de los vinos de frutas elaborados a nivel mundial.

4.1. VINOS ELABORADOS CON FRUTAS DE ÁRBOL

La bebida fermentada obtenida de la manzana es una bebida popular en muchos países occidentales siendo denominada vino de manzana o sidra. En los últimos años, la producción de este vino se ha visto incrementada a nivel mundial debido a China, país con una elevada sobreproducción de manzanas (Fan *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2004). Uno de los inconvenientes más importantes en la elaboración del vino de manzana es que las fermentaciones alcohólicas son lentas y además suelen darse las temidas paradas de fermentación, quedando en el producto final altas concentraciones de azúcares residuales, principalmente fructosa que le confiere sabores desagradables. Por ello, la evaluación y selección de cepas de levadura fructofílicas es muy significativa para la industria del vino de manzana (Wang *et al.*, 2004). Además, son numerosos los estudios sobre la fracción aromática de los vinos de manzana y su perfil polifenólico, destacando como compuestos volátiles mayoritarios ésteres (acetato de etilo y lactato de etilo), alcoholes (2 y 1-butanol, 1-propanol, alcoholes isoamílicos, 2-fenil etanol), acetaldehído, y acetoina, entre otros (Antón, 2015; Satora *et al.*, 2018). Por otro lado, se ha ensayado el envejecimiento de forma acelerada de estos vinos mediante la adición de virutas de roble de diferentes orígenes: francés, americano y chino, empleando diferentes dosis y tipos de tostado (Fan *et al.*, 2006).

Los vinos de melocotón o durazno se producen comercialmente en muchos países, pero el mayor productor es probablemente Estados Unidos. Estos delicados vinos de frutas a menudo se caracterizan por un aroma a melocotón intenso e inmediatamente reconocible, con una agradable sensación en la boca y un acabado suave. Existen pocos estudios sobre las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales de este tipo de vino (Chung *et al.*, 2003; Joshi & Shah, 1998). Sin embargo, Davidovic *et al.* (2013) en un estudio más completo comparan las características de vinos elaborados con diferentes variedades de melocotón con las de vinos blancos seleccionados producidos a partir de diversas variedades de uva. Los resultados mostraron que el contenido de fenoles totales y flavonoides del vino de melocotón es significativamente mayor al del vino de uva, siendo los principales compuestos fenólicos identificados los ácido clorogénico y cafeico y la catequina. Además, la mayor capacidad antioxidante se atribuyó al vino de melocotón.

4.2. VINOS ELABORADOS CON FRUTOS ROJOS

En los últimos años, son numerosos los estudios que demuestran que el aumento en el consumo de bayas mejora la función cognitiva, y disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Bagchi *et al.*, 2004; Papandreou *et al.*, 2009). Como consecuencia la demanda de bebidas que contenga este tipo de frutos se ha visto incrementada. Una de estas bebidas es el vino de arándano ya que es conocido que este fruto es una fuente potencial de antioxidantes naturales que han demostrado tener un amplio espectro de funciones biomédicas: se ha relacionado con una función inmune mejorada, efectos antienvjecimiento y efectos protectores claros contra las enfermedades cardiovasculares y la insuficiencia renal en particular (Basu *et al.*, 2010; DeFuria *et al.*, 2009; Seeram, 2008; Seeram *et al.*, 2006; Stull *et al.*, 2010; Tsuda, 2012; Zafra-Stone *et al.*, 2007;). A nivel mundial, se emplean diferentes especies de arándanos para elaborar vino si bien destacan Tifblue (*Vaccinium ashei*) y Rubel

(*Vaccinium corymbosum*), siendo el proceso de elaboración del vino de arándano similar al de los vinos tintos y blancos. El vino de arándano destaca por tener un sabor agrio y dulce y aromas delicados (Sun *et al.*, 2019). Desde hace unos años son numerosos los estudios acerca del contenido en fenoles totales, antocianinas y flavonoides en los vinos de arándanos con el objetivo de conocer sus posibles beneficios para la salud (He *et al.*, 2016; Rupasinghe & Clegg, 2007; Sun *et al.*, 2019). Entre los compuestos fenólicos mayoritarios identificados en el vino de arándano destacan el kampferol y los ácidos ferúlico, vanílicico, cafeico, gálico y protocatéquico (Johnson *et al.*, 2011; Johnson & Gonzalez de Mejia, 2012; Sánchez-Moreno *et al.*, 2003; Su & Chien, 2010). Por el contrario, son escasos los estudios que se centran en la composición volátil de los vinos de arándanos, aunque el aroma es una de las cualidades más importantes para los productos vitivinícolas (Gilbert *et al.*, 2013). Mediante el uso de técnicas cromatográficas (CG-QTOF-MS, cromatografía gaseosa-cuadrupolo-espectrometría de masas) (Yuan *et al.*, 2018) identifican unos 70 compuestos volátiles que se incluyen en diferentes familias químicas: alcoholes, ésteres, cetonas, ácidos, aldehídos, terpenos, tioles, fenoles, y norisoprenoides. Además, Mendes-Ferreira *et al.* (2019) estudian el perfil aromático de vinos de arándano jóvenes y envejecidos en botella, identificando como compuestos volátiles mayoritarios el acetaldehído, acetato de etilo, 2-metil-1-butanol, 3-metil-1-butanol y 2-feniletanol, estando todos ellos presentes en concentraciones superiores a su umbral de percepción. Ésteres y terpenos fueron los grupos de compuestos que presentaron mayor potencia odorante seguidos de los ácidos, alcoholes y norisoprenoides.

El vino de cereza es uno de los vinos de frutas más populares consumidos en todo el mundo, principalmente en China ya que es el mayor productor de cerezas y dado que estos frutos son perecederos, a menudo se procesan en zumo y vino para evitar pérdidas posteriores a la cosecha. Este vino se elabora generalmente de forma similar al vino tinto y con una temperatura controlada de 18-20 °C (Pantelic *et al.*, 2014). Se emplean diferentes variedades de cereza, tanto dulces (*Prunus avium L.*), como ácidas (*Prunus cerasus L.*), siendo muy atractivo para los consumidores debido a su color, aroma y sabor, así como por su alto contenido en compuestos antioxidantes (Sun *et al.*, 2011 a, 2011b 2013). Durante años han sido escasos los estudios sobre la identificación y cuantificación de volátiles y polifenoles en los vinos de cereza (Yoo *et al.*, 2010). Sin embargo, en los últimos años el interés sobre la composición fenólica y aromática de estos vinos está aumentando considerablemente. En este sentido, Sun *et al.* (2011a y 2013) y Xiao *et al.* (2015) ensayan diferentes cepas de *S. cerevisiae* para estudiar su efecto sobre el perfil aromático y fenólico de vinos procedentes de diferentes variedades de cereza, así como en su actividad antioxidante. Los resultados muestran que los compuestos aromáticos más abundantes en todos los vinos fueron ácido 2-metilpropanoico, ácido 3-metilbutanoico, ácido hexanoico y nerol. Como compuestos fenólicos mayoritarios destacaron de forma significativa los ácidos fenólicos y las antocianinas. Recientes estudios evalúan la incidencia, de realizar la fermentación maloláctica con diferentes cepas de levaduras, sobre las características químicas y aromáticas de los vinos de cereza (Li *et al.*, 2019).

El vino de sauco se elabora empleando la baya del sauco (*Sambucus nigra L.*), especie muy extendida en Asia, Europa, África del Norte y EE. UU y que crece en lugares expuestos a la luz solar. Este fruto posee importantes propiedades farmacológicas

(antioxidantes, antiinflamatorias e inmunoestimulantes) debido a que en su composición presenta altos contenidos de flavonoides y antocianinas (Dawidowicz *et al.*, 2006; Jagtap & Bapat, 2015). El vino de sauco suele ser de color rojo y con un moderado contenido en etanol, alrededor de 13% v/v (Schmitzer *et al.*, 2010). Además, autores como Youdim *et al.* (2000) y Thole *et al.* (2006) indican que este vino de frutas suele presentar mayor capacidad antioxidante que el propio mosto, estando sus valores en el rango del de los vinos tintos, y existiendo una significativa correlación de dichos valores con el contenido total de compuestos fenólicos. Por otro lado, son numerosos los compuestos aromáticos que se han identificado por CG/EM tanto en el jugo de sauco como en vinos. En este sentido, Mikova *et al.* (1984) identifican cetonas (metilvinilcetona y damascenona) y ésteres de metilo y etilo de ácidos grasos de cadena larga (mirístico, palmítico, palmitooleico, esteárico, oleico, linoleico y linoléico). Mientras que Jensen *et al.* (2000) señalan que el olor característico de las bayas de sauco es debido principalmente al dihidroedulano y a la β -damascenona.

El vino de frambuesa es un vino tradicionalmente consumido en Corea (Hager *et al.*, 2008; Lim *et al.*, 2012) y muy demandado en China donde su producción ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años (Li *et al.*, 2020). Esto es debido a que este el vino de frambuesa posee un agradable sabor, olor y color y además posee gran cantidad de compuestos antioxidantes que pueden satisfacer la creciente demanda de alimentos funcionales de los consumidores (Djordjević *et al.*, 2015; Jagtap & Bapat, 2015). El aroma es una de las principales características que determinan la calidad de los vinos de frambuesa, y es conocido que las levaduras empleadas para la fermentación del jugo de frambuesa desempeñan un papel importante en su formación y modulación, así como en la forma de liberar compuestos volátiles varietales procedentes de precursores y sintetizar otros derivados de la levadura (Sun *et al.*, 2011b). En este sentido Li *et al.* (2020) comparan diferentes modos de fermentación para la producción de vino de frambuesa: la fermentación espontánea, la inoculación única de *S. cerevisiae*, el uso combinado de *S. cerevisiae/T. delbrueckii*, con el objetivo de mejorar su perfil aromático. Además, este vino es rico en antocianina, proantocianidina y polifenoles, lo que explica su alta actividad antioxidante (Jagtap & Bapat, 2015). Según Weber & Liu (2002) y Jeong *et al.* (2010) la alta capacidad antioxidante del vino de frambuesa protege a las células contra el estrés oxidativo y permite considerarlo como una bebida antioxidante y antiinflamatoria.

La granada (*Punica granatum* L.) se cultiva principalmente en Asia y Europa (Pagliarulo *et al.*, 2016). Hoy en día, la granada se considera una fuente dietética de bioactivos, por lo que su consumo se considera beneficioso para la salud ya que se ha comprobado la efectividad de estos compuestos en la protección contra enfermedades cardiovasculares, diabetes, Alzheimer y cáncer (Mena *et al.*, 2012; Viuda-Martos *et al.*, 2010; Xuan *et al.*, 2014). Esta fruta se consume mayoritariamente como zumo, vinagre de frutas o en mermeladas; sin embargo, la elaboración de vino de granada se ha presentado en los últimos años como un enfoque novedoso que proporciona un producto de valor añadido, con efectos beneficiosos para la salud y que permite un mejor aprovechamiento de este fruto rojo (Berenguer *et al.*, 2016; Lantzouraki *et al.*, 2015; Ordoudi *et al.*, 2014). Los vinos de granada son ricos en compuestos fenólicos siendo los más abundantes las antocianinas y el ácido gálico, responsables de las propiedades antioxidantes y del color del vino, así como en melatonina, una

neurohormona relacionada con una amplia gama de funciones fisiológicas y que tiene propiedades terapéuticas comprobadas (Lan *et al.*, 2017; Mena *et al.*, 2012). Sin embargo, autores como Berenguer *et al.* (2016) indican que el vino de granada retiene únicamente alrededor de un 34% del contenido total de antocianinas del jugo. En lo que respecta al perfil aromático del vino de granada se han identificado varios grupos de compuestos químicos característicos que lo definen: aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos, alcoholes, entre otros. En particular, son seis compuestos clave los que destacan, octanoato y decanoato de etilo, 3-metil-1-butanol, 2-fenil etanol, acetato de 3-metil-1-butanol y etanol (Andreu-Sevilla *et al.*, 2013; Lan *et al.*, 2017).

4.3. VINOS ELABORADOS CON FRUTAS TROPICALES

En la India son muy populares los vinos de piña, debido a que durante años han existido gran cantidad de excedentes de este cultivo y los agricultores usan el proceso de fermentación alcohólica del jugo de piña como un medio barato y energéticamente eficiente para preservar las materias primas perecederas (Kunkee & Vilas, 2014). En los últimos años, en Tailandia, uno de los mayores productores y exportadores de piña, consideran el vino de piña un valor añadido ya que es cada vez más valorado por los consumidores debido a su atractivo sabor. El vino de piña se elabora de manera similar a los vinos de uva incluyendo las etapas de pelado y corte de fruta, extracción de jugo, fermentación, clarificación, embotellado y maduración (Youravonga *et al.*, 2010). Además, autores como Roda *et al.* (2017) utilizan las cáscaras y el núcleo de la piña, que generalmente se descartan durante el procesamiento de la fruta y realizan fermentaciones controladas (7-10 días a 25 °C, en condiciones aeróbicas) con *Saccharomyces cerevisiae*, para la obtención de vino base que posteriormente se emplea para la elaboración de vinagre. El análisis metabolómico llevado a cabo indicó que los compuestos fenólicos se encontraban entre los componentes más frecuentemente identificados en este tipo de vino. El perfil fenólico identificado mostró la presencia de compuestos glicosilados y libres entre diferentes subclases de flavonoides, ácidos hidroxicinámicos, ácidos fenólicos, bencenoles y cumarinas. Respecto al perfil aromático del vino de piña las principales familias químicas en las cuales se incluyen los compuestos volátiles fueron ésteres, alcoholes y ácidos. Destacando cuantitativamente el acetato de etilo, 3-metil-1-butanol y ácido octanoico, respectivamente.

Los vinos de banana proceden de la fermentación del jugo de banana madura, siendo considerado un medio atractivo de valorizar los excedentes de esta fruta. Estos vinos suelen presentar un contenido alcohólico bajo (5% v/v), un aceptable contenido en vitamina C (próximo a 1.5 mg/100 mL) y son generalmente muy bien aceptados por los consumidores (Akubor *et al.*, 2003; Jagtap & Bapat, 2015). Uno de los problemas en la elaboración de estos vinos es la presencia de gran cantidad de polisacáridos, por ello, Byaruagaba-Bazirake *et al.* (2013) optimizan el uso de cepas de levaduras recombinantes durante la fermentación; como una alternativa a los preparados de enzimas comerciales y así mejorar la calidad del vino de banana.

El vino de guayaba se elabora fermentando el jugo de la guayaba (*Psidium guajava L.*) el cual es una buena fuente de ácido ascórbico, pectina, azúcares y ciertos minerales con un sabor y aroma muy apreciados (Jagtap & Bapat, 2015). Además, Jiménez-Escrig

et al. (2001) señalan que este jugo presenta un alto contenido de fibra dietética y polifenoles extraíbles y, una notable capacidad antioxidante altamente correlacionada con el contenido fenólico total correspondiente. Estos resultados indican que la guayaba podría ser una fuente adecuada de antioxidantes naturales y de fibra dietética. Existen diferentes estudios acerca de este vino de frutas, Sevda & Rodrigues (2011) optimizan el proceso de fermentación alcohólica ensayando diferentes cepas de levaduras *S. cerevisiae* mientras que Pino & Queris (2011) analizan el perfil aromático. Los resultados obtenidos de este estudio confirmaron la complejidad del aroma de este vino ya que se identificaron una gran variedad de componentes volátiles que incluyen ésteres, alcoholes, cetonas, ácidos, aldehídos, terpenos, fenoles y derivados, lactonas y compuestos azufrados, entre otros. Además, mediante la obtención de los valores de actividad odorante de los compuestos volátiles, identificaron doce compuestos clave del aroma del vino de guayaba entre los que destacan la β -damascenona, el octanoato de etilo, el 3-fenilpropanoato de etilo y el hexanoato de etilo.

El mango es una de las frutas tropicales más populares cultivadas y consumidas en todo el mundo. La fruta se consume mayoritariamente fresca, aunque en los últimos años se está utilizando para la producción del vino de mango; debido a que el jugo de esta fruta presenta características similares a las del mosto de uva en cuanto a su alta composición de azúcares reductores fermentables y acidez. Además, contiene cantidades elevadas de vitamina A y C y β -carotenos cuya función anticancerígena está ampliamente demostrada. El vino de mango se caracteriza por presentar una concentración de etanol de 7 a 8.5% p/v, una concentración de metanol ligeramente más alta que la de los vinos de uva; así como, presencia de otros compuestos volátiles en cantidades comparables a las del vino de uva (Pino & Queris, 2011; Reddy & Reddy, 2015). Al objeto de optimizar el proceso de fermentación del jugo de mango, diferentes autores (Reddy & Reddy, 2010; Varakumar *et al.*, 2013) realizan inoculaciones controladas con cepas seleccionadas de levaduras *S. cerevisiae* y *Oenococcus oeni*. Los resultados de este estudio revelaron que las condiciones óptimas para obtener un vino de mango de calidad son inoculación simultánea de las dos cepas de levaduras, 25 °C, 100 ppm de SO₂ y pH próximo a 5. Además, Reddy & Reddy (2009) han comprobado que la adición de β -glucosidasa durante la maceración de la pulpa de mango y/o durante la fermentación puede acelerar la liberación de compuestos como ésteres etílicos, ácidos grasos, terpenoles y otros compuestos odorantes que equilibran y aumentan la potencia odorante del vino de mango. Por último, Kondapalli *et al.* (2014) han estudiado el efecto de aplicar radiaciones ionizantes, proceso físico no térmico que se utiliza para destruir ciertos microorganismos, al vino de mango. Los resultados mostraron que además de disminuir la carga microbiana, el contenido en polifenoles totales, flavonoides y la actividad antioxidante del vino aumentó significativamente con la dosis de radiación.

Cupuassu (*Theobroma grandiflorum Schum.*) es una fruta ampliamente consumida en fresco en Brasil, aunque también es procesada para elaborar una gran cantidad de alimentos como zumos, helados, mermeladas, licores, rellenos de chocolates y otros productos (Duarte *et al.*, 2010). Para la elaboración del vino de Cupuassu, el jugo obtenido de la pulpa (pH promedio de 3.4 y un contenido de azúcar de aproximadamente 10.7 °Brix), se diluye con una solución de sacarosa para ajustar el contenido de azúcar a 16 °Brix y, el pH se ajusta a 4.5 con la adición de carbonato de

calcio. También se le adicionan hidrolasas y bentonita para facilitar la sedimentación de sólidos no fermentables y la clarificación del jugo y, dióxido de azufre, en forma de metabisulfito de potasio para inhibir el crecimiento bacteriano. La fermentación del mosto de cupuassu se realiza con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y generalmente a 22 °C. El perfil aromático de estos vinos se caracteriza por la presencia de numerosos compuestos volátiles, principalmente acetaldehído, 1,1-dietoxietano, acetato de etilo, metanol, 1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol, 3-metil-1-butanol y 2-feniletanol. En menor concentración se detectaron compuestos C6, alcoholes, ésteres etílicos, acetatos, alcoholes monoterpénicos, óxidos monoterpénicos, fenoles volátiles, ácidos, compuestos de carbonilo, compuestos de azufre, entre otros. Estos compuestos contribuyeron a la formación de aromas afrutados, a dulce, cítricos, vainilla, rosas y miel (Duarte *et al.*, 2010).

El cacao es conocido mundialmente por sus granos, que se utilizan en la producción de chocolate y productos relacionados. Sin embargo, y al objeto de minimizar los excedentes de la cosecha diversos autores (Ribeiro *et al.*, 2007; Duarte *et al.*, 2010) han estudiado la producción de vino de cacao como una alternativa viable dado que la pulpa de cacao es un sustrato rico en nutrientes y puede ser fermentada fácilmente por levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* (Ribeiro *et al.*, 2007; Schwan & Wheals, 2004). La pulpa de cacao tiene un nivel de azúcar promedio de 16 °Brix y un valor de pH de aproximadamente 3.2. Para elaborar el vino de cacao la pulpa se diluye con una solución de sacarosa para ajustar la concentración de azúcar a 22 °Brix además de añadir CaCO₃ para aumentar el valor de pH hasta 4.0. También se le suele agregar alguna enzima pectolítica para ayudar a la clarificación del jugo y dióxido de azufre para inhibir la proliferación de bacterias. Estudios realizados por Ribeiro *et al.* (2007) y Duarte *et al.* (2010) detectaron mediante CG/EM la presencia en el vino de cacao de gran cantidad de compuestos volátiles entre los que destacan compuestos C6, monoterpénicos, ésteres etílicos, acetatos, fenoles volátiles, ácidos, compuestos carbonílicos y compuestos azufrados, entre otros. Además, el análisis sensorial de este tipo de vino fue positivamente puntuado por los catadores lo que indica una buena aceptación de este, teniendo además en cuenta que dicho panel de cata no estaba familiarizado con el vino de cacao.

El kiwi (*Actinidia spp.*) es originario de China y presenta en su composición un alto contenido en almidón, el cual se hidroliza durante la maduración de la fruta y consecuentemente los azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) se incrementan. Algunas de las características más destacadas del kiwi son su alta concentración en ácido quínico y ácido ascórbico, en comparación con otras frutas (Heatherbell, 1975; Luh & Wang, 1984). Además, tiene cantidades importantes de proteínas, carotenoides, compuestos fenólicos, cantidades suficientes de minerales (P, K, Ca, Mg) y componentes aromáticos, principalmente ésteres, alcoholes, aldehídos y cetonas (Patterson & Burns, 1983; Wilson & Burns, 1983). Los primeros vinos de kiwi datan de 1894 siendo considerados los procedentes de la especie *Actinidia arguta* de una excelente calidad y presentar características similares a las del champán, mientras que los vinos elaborados con la especie *Actinidia chinensis* son similares a los vinos elaborado con uvas de las variedades Riesling, Sylvaner y Müller-Thurgau (Craig, 1988; Lodge, 1981). Sin embargo, el procesamiento y vinificación de los kiwis es más complicado que el de las uvas y exige buena madurez y el uso de enzimas pectolíticas. Además, como resultado

de la tecnología relativamente poco desarrollada para la producción de vino de kiwi, el aroma del vino de kiwi presenta ciertos aspectos que podrían ser mejorados. En esta línea Sun *et al.* (2021) realizan inoculaciones mixtas de diferentes razas de levaduras con el objetivo de mejorar el perfil aromático de este tipo de vino. El análisis de estos vinos confirma la presencia de un elevado número de compuestos volátiles pertenecientes a diferentes familias químicas como alcoholes, ésteres, ácidos volátiles, compuestos de carbonilo, entre otros (Soufleros *et al.*, 2001; Sun *et al.*, 2021).

La chirimoya (*Annona aquamosa* L.) es una fruta múltiple, que consta de muchas pequeñas frutas cargadas cada una con una semilla y es muy valorada por su beneficio nutricional y sabor exótico. Además de nutrientes como carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc., la chirimoya contiene metabolitos secundarios como son los compuestos fenólicos, alcaloides y saponinas. Destacan los numerosos estudios acerca de su alto contenido en compuestos fenólicos y su elevada capacidad antioxidante (Baskaran *et al.*, 2016; Jagtap & Bapat, 2014; Julian-Loeza *et al.*, 2010; Loizzo *et al.*, 2012). Sin embargo, la fruta fresca madura muy rápidamente manteniendo una estrecha relación entre el periodo de cosecha y calidad del fruto. Por ello, diferentes autores (Jagtap & Bapat, 2014 y 2015; Pareek *et al.*, 2011) han evaluado la posibilidad de elaborar vino de chirimoya fermentado su jugo con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* con el fin de obtener un producto saludable y además minimizar las pérdidas postcosecha. El análisis de este vino de frutas confirmó la presencia de diferentes ácidos hidroxibenzoicos y ácidos cinámicos, así como la capacidad de esta bebida de proteger frente a radiaciones γ , lo cual podría tener aplicaciones en el ámbito de la salud.

La papaya (*Carica Papaya* L.) es uno de los principales cultivos frutales del sudeste asiático; se consumen comúnmente frescas o se usan como ingrediente para otros alimentos como jaleas y mermeladas. Además, se ha propuesto como un recurso potencial de energía renovable para la producción industrial de alcohol debido a su bajo costo y fácil disponibilidad (Sharma & Ogbeide, 1982). Sin embargo, dado que no todas las frutas cosechadas llegan a su destino en el mercado debido a su rápido deterioro tras la cosecha, esta fruta tropical es considerada una buena fuente para la elaboración de vino de papaya de calidad con un aroma y sabor característico (Lee *et al.*, 2011a, 2011b). Los estudios más recientes están relacionados con la mejora del proceso de fermentación del jugo de papaya mediante diferentes técnicas como son la adición de aminoácidos, adición de alcohol de fusel procedente de la destilación alcohólica e inoculación con diferentes cepas de levaduras de forma simultánea o secuencial. Respecto a la primera, los resultados indican que la adición de una pequeña cantidad de alcohol supone una mejora en el aroma del vino de papaya (Lee *et al.*, 2011a). Los resultados de adicionar de forma selectiva aminoácidos como la leucina, isoleucina, valina y fenilalanina durante la fermentación del jugo de papaya parece ser una forma óptima de modular el perfil sensorial de estos vinos de manera que satisfagan a los consumidores (Lee *et al.*, 2011b). Por último, Lee *et al.* (2012) estudian los efectos de la inoculación secuencial de levaduras *Williopsis saturnus* var. *mrakii* y *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* en el perfil volátil del vino de papaya. El estudio sugiere que la inoculación secuencial de levaduras no-*Saccharomyces* y *Saccharomyces* en una determinada relación de inóculo puede ser una herramienta valiosa para manipular la sucesión de diferentes levaduras durante la fermentación y así obtener vinos de papaya con diferentes perfiles aromáticos.

El lichi (*Litchi chinensis* Sonn.) es nativo de China, aunque se cultiva de forma generalizada en las zonas tropicales y semi-tropicales de todo el mundo. Esta fruta presenta aromas florales y a cítricos y su contenido en azúcar es de aproximadamente 160 g/L). Sin embargo, el pardeamiento tan rápido que sufre esta fruta tras la recolección origina una pérdida de su vida útil y por lo tanto una reducción de su valor comercial (Alves *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010; Mahattanatawee *et al.*, 2007). Por ello, durante la última década en China la industria del vino de lichi se ha desarrollado rápidamente (Alves *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2014). Uno de los inconvenientes principales del vino de lichi es la elevada concentración de ácido acético que suele alcanzar, aproximadamente 1.2 g/L, lo que le provoca un notable sabor amargo o agrio por lo que las cantidades excesivas de este ácido deben eliminarse para obtener vinos de lichi de calidad (Alves *et al.*, 2011; Cordente *et al.*, 2013; Ribereau-Gayon *et al.*, 2006). En este sentido, la selección de la levadura adecuada es importante para garantizar una fermentación completa y mejorar las características finales del vino de lichi. Autores como Alves *et al.* (2011) ensayan diferentes cepas de levadura *Saccharomyces cerevisiae* y comparan las características final del vino con el obtenido mediante fermentación espontánea. Además, recientes estudios (Chen & Liu, 2016) evalúan los efectos de la fermentación simultánea y secuencial con *Torulaspora delbrueckii* y *Saccharomyces cerevisiae* sobre el perfil aromático de los vinos de lichi. Los resultados mostraron que la fermentación secuencial del jugo de lichi con estas dos cepas de levaduras redujo los valores de actividad odorante de los ácidos volátiles y aumentó el de los terpenoides, alcoholes superiores (alcohol isoamílico y alcohol 2-feniletíl) y ésteres (octanoato, decanoato y hexanoato de etilo y acetato de 2-feniletanol), compuestos que aportan notas aromáticas frutales y florales y que mejoran el perfil aromático de este vino. Por último, Shang *et al.* (2016), evalúan la capacidad de la levadura *S. cerevisiae* para eliminar el ácido acético del vino de lichi al ser sometida a diferentes temperaturas de fermentación.

4.4. VINOS ELABORADOS CON ARROZ

El vino de arroz es una bebida alcohólica fermentada tradicional de China desde hace más de cinco mil años y, actualmente es una de las que presenta un consumo anual más elevado (Fu, 2005; McGovern *et al.*, 2004; Zhengchang, 2009; Zhou, 1996). El vino de arroz chino generalmente se fermenta a partir de arroz glutinoso con trigo Qu y levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Durante el proceso de producción de trigo Qu, el trigo es extruido, mezclado con agua y presionado en un bloque donde es incubado en condiciones espontáneas durante al menos 15 días. Por último, se almacena durante varios meses antes de usarse para hacer vino de arroz chino. Como resultado de la fermentación, el trigo Qu es rico en varios microorganismos, tales como *Absidia corymbifera*, *Rhizopus oryzae*, *Rhizomucor pusillus*, *Aspergillus oryzae*, *Emericella nidulans*, *Clavispora lusitaniae*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *microspor* *Rhizopus*, *Saccharomyces cerevisiae*, etc. Una amplia variedad de enzimas que incluyen amilasas, glucoamilasa, proteasas, fitasa y fosfatasa también se acumulan en el trigo Qu durante la fermentación (Xie *et al.*, 2007). En este “puré de fermentación”, la levadura fermenta sucesivamente la glucosa liberada del almidón del arroz. Además, en este proceso se da la denominada “fermentación paralela” que se refiere a la combinación de la sacarificación progresiva del almidón y la fermentación alcohólica. Este proceso que suele durar entre 20-25 días evita la exposición de las células de levadura a altas concentraciones de azúcar y contribuye a la alta producción de etanol, que puede ser superior al 20% v/v en la mezcla final de fermentación (Zhou, 1996).

Antes de venderse en el mercado, el vino de arroz chino se almacena en cerámica para envejecer durante 3 años o más, generalmente. El proceso de envejecimiento aporta al vino de arroz un sabor agradable y equilibrado, y un sabor suave (Shen *et al.*, 2013). El vino de arroz chino más conocido es el vino de arroz Shaoxing, que se fermenta a partir de arroz y trigo glutinoso de alta calidad, únicamente se emplea agua procedente del lago Mirror (Zhejiang, China) y se deben cumplir las normas de calidad del Estándar Nacional de China, comparable a la Denominación de Origen Europea. Como el resto de los vinos procedentes de otras materias primas, la calidad del vino de arroz depende principalmente de las materias primas, cepas de levadura, condiciones de elaboración y de maduración (Luo *et al.*, 2007; Zhou, 1996). Los alcoholes superiores, los ésteres y los ácidos volátiles son los principales compuestos que conforman el perfil aromático del vino de arroz chino, mientras que algunos compuestos de carbonilo, compuestos de azufre, fenoles, lactonas, furanos y compuestos que contienen nitrógeno están presentes en concentraciones más bajas. Sin embargo, las concentraciones individuales de la mayoría de los compuestos volátiles varían significativamente ya que son muy diversas las cepas de levaduras que se inoculan para la elaboración de este tipo de vinos (Luo *et al.*, 2008). Por otro lado, en el vino de arroz chino, el pretratamiento enzimático por extrusión es muy beneficioso para su valor nutricional y sabor, ya que los aminoácidos no solo tienen un papel importante como componentes nutritivos; sino también como precursores de compuestos aromáticos (Shen *et al.*, 2010).

5. COMPUESTOS BIOACTIVOS

En la última década se ha producido un rápido desarrollo de la producción de vinos de frutas en muchos países, lo que puede atribuirse al mayor interés de los consumidores por los alimentos funcionales que pueden ayudar a promover la salud y ayudar a reducir el riesgo de enfermedades. En este sentido, numerosos estudios han confirmado que el consumo moderado de vino de uva (principalmente tinto) y de otras frutas tiene efectos beneficiosos para la salud cuando se combina con una dieta equilibrada (Goldberg, 1996; Motilva *et al.*, 2016; Ortuño *et al.*, 2010; Plotka-Wasyłka *et al.*, 2017; Teissedre & Landrault, 2000; Vuorinen *et al.*, 2000; Yoo *et al.*, 2010).

Los compuestos bioactivos, conocidos como nutraceuticos o fitoquímicos (cuando se trata de compuestos de origen vegetal), son aquellos compuestos esenciales y no esenciales que se producen en la naturaleza, son parte de la cadena alimentaria y pueden tener un efecto sobre la salud humana, mejorando una función fisiológica o mediante la disminución de los factores de riesgo para una enfermedad (Biesalski *et al.*, 2009). A finales del siglo XX se presentaron avances importantes en el conocimiento sobre alimentación y nutrición, así como en salud y enfermedad con base en la gran cantidad de estudios epidemiológicos, experimentales y estadísticos sobre la composición de los alimentos para determinar actividades biológicas. Todo ello contribuyó a la identificación de determinados componentes de la dieta (fitoquímicos) como factores potencialmente implicados en la prevención de procesos patológicos. Posteriormente varios autores han coincidido en la definición básica de los compuestos bioactivos como aquellos metabolitos secundarios no nutricionales de origen vegetal que son vitales para el mantenimiento de la salud humana (Batchu *et al.*, 2013; Patil *et al.*, 2009).

Debido a las numerosas funciones biológicas que ejercen los compuestos bioactivos en el organismo, se ha potenciado su investigación para aumentar el contenido de estos compuestos en los alimentos. Por otra parte, ha crecido el desarrollo de nuevos productos derivados de alimentos ricos en compuestos bioactivos; lo cual aumenta la oferta que actualmente existe en el mercado de este tipo de productos. Normalmente, los componentes bioactivos se encuentran en cantidades muy pequeñas en los alimentos que se consumen como parte de nuestra dieta habitual y en casi todos los casos, provienen de fuentes alimentarias vegetales. Son compuestos de origen diverso y según su naturaleza química pueden clasificarse en inorgánicos y orgánicos, actuando a través de diferentes mecanismos de acción (Jones, 2002). Como compuestos inorgánicos cabe mencionar a los minerales y como orgánicos, destacan los compuestos fenólicos (ácidos fenólicos: ácido gálico, p-cumárico, clorogénicos cafeico, ferúlico; flavonoides), los pigmentos carotenoides (α , β caroteno, licopenos, β -criptoxantina, xantofilas: luteína, zeaxantina), las vitaminas antioxidantes (vitaminas A, C y E), la melatonina, terpenos, lignanos, compuestos organosulfurados, aminoácidos, péptidos, saponinas, etc. (Biesalski *et al.*, 2009; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2014; Wang & Stoner, 2008)

Según diversos autores (Dembitsky *et al.*, 2011; Machado & Schieber, 2010; Ramful *et al.*, 2011) estos compuestos están presentes de forma destacada en frutas y verduras y son considerados importantes en la prevención de numerosas enfermedades. Estudios epidemiológicos *in vitro* y clínicos llevados a cabo por Block *et al.* (1992), indican que

una dieta a base de frutas y verduras puede reducir el riesgo de enfermedades crónicas, especialmente del cáncer. En las frutas tropicales los compuestos bioactivos más comunes son los compuestos fenólicos, las vitaminas (C y E), carotenoides, entre otros muchos, si bien a todos ellos se les relaciona con una reducción del riesgo de desarrollar enfermedades como cáncer, alzhéimer, cataratas, párkinson, entre otras. Este hecho es debido, fundamentalmente, al poder antioxidante y a la capacidad de captación de radicales libres, que permiten retrasar o inhibir la oxidación de moléculas como el ADN, las proteínas y/o lípidos. Además, se ha demostrado que estos compuestos presentan efectos antimicrobianos; jugando un papel importante en la protección frente a los agentes patógenos (Ayala *et al.*, 2011; Ramful *et al.*, 2011). En todos los casos la concentración y presencia de estos componentes funcionales, depende del tipo de producto evaluado.

El arroz además de ser una de las fuentes principales de carbohidratos, se usa también tradicionalmente con fines terapéuticos, dado que en el salvado de arroz están presentes diversos compuestos bioactivos. Estos incluyen vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, tocoferoles, tocotrienoles, antocianinas, fitoesteroles y fibra dietética que como ya se ha mencionado anteriormente reducen el colesterol y son antiinflamatorios, antitumorales, antidiabéticos y antioxidantes. Tanto los experimentos *in vivo* como *in vitro* han determinado el efecto de estos compuestos en animales y seres humanos, si bien se ha encontrado que el potencial bioactivo del arroz varía ampliamente con la variedad, el grado de pulido y el procesamiento (Pérez-Ternero, 2016).

A continuación, se exponen algunos de los compuestos bioactivos estudiados en los vinos cubanos elaborados a partir de diferentes materias primas, principalmente frutas tropicales y arroz.

5.1. MINERALES

Los minerales son ingredientes inorgánicos de los alimentos, requeridos por el cuerpo en pequeñas cantidades para la realización de diferentes procesos metabólicos importantes para el funcionamiento del cuerpo humano, incluyendo la transmisión de señales nerviosas, formación de huesos y dientes, biosíntesis de vitaminas y conversión de energía de los alimentos (Campbell-Platt, 2009). Los minerales engloban todos los elementos que se requieren como nutrientes esenciales con la excepción de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y oxígeno (O), que están presentes en las moléculas orgánicas comunes. Los minerales se clasifican en función de su ingesta diaria recomendada en minerales principales (más de 50 mg/día) y minerales traza (menos de 50 mg/día). De forma conjunta representan aproximadamente el 4% del peso total del cuerpo humano, destacando el Ca y el P, 2% y 1%, respectivamente (Badui, 2016; Belitz *et al.*, 2009; Reilly, 2004;).

- Minerales principales (macrominerales o minerales esenciales): presentes en cantidades superiores al 0.1% del peso del cuerpo. Incluyen: calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), fósforo (P) y cloro (Cl).
- Minerales traza (micro minerales u oligoelementos): se encuentran en cantidades inferiores al 0.01% del peso del organismo. Incluyen cobalto (Co), cobre (Cu), flúor (F), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), selenio

(Se), azufre (S) y cinc (Zn), entre otros. Según Escanero (1998), Parsons & Barbosa (2007) y Ramírez *et al.* (2015) los minerales traza pueden clasificarse atendiendo al efecto que ejercen en el organismo humano (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Clasificación de los oligoelementos (Escanero, 1998; Parsons & Barbosa, 2007; Ramírez *et al.*, 2015).

Funcionalidad	Elementos traza u oligoelementos
Con funciones probadas de esencialidad	Co, Cr, Cu, Mn, Mo, F, Ni, Se, I, Zn
Con función esencial sospechada, pero con mecanismos de acción desconocidos	As, B, Br, Li, Sn, V
Elementos traza tóxicos	Al, Be, Cd, Hg, Nb, Pb, Re, Te, Ti, Tl, U, W

La carencia de algunos de estos elementos químicos puede provocar problemas de salud ya que participan en diferentes aspectos del funcionamiento del organismo humano: en la formación de tejidos rígidos del cuerpo (Ca, P, F, Mg), como cofactor de enzimas (Mn, Zn, Cu, Mo, Na), para controlar la presión osmótica de fluidos celulares y el pH (Na, K, Cl), etc. (Guggenheim, 1982). La mayoría de los minerales están presentes en los alimentos que forman parte de una alimentación variada: los vegetales crudos, las frutas, la leche y sus derivados, la carne, el pescado, los huevos, las legumbres, y los aceites vegetales. Sin embargo, el hecho de consumirlos no significa que se absorban y se aprovechen en su totalidad en el organismo humano, ya que su biodisponibilidad es muy diferente entre ellos. Diversos estudios (Bailey *et al.*, 2011; FAO/WHO, 2001; Tucker & Townsend, 2005) relacionan el consumo periódico de estos alimentos con una disminución de los valores de presión arterial y del riesgo cardiovascular o de padecer cáncer, entre otros beneficios. Desde este punto de vista, estos compuestos inorgánicos se pueden dividir en aquellos que son necesarios en la dieta en cantidades superiores a los 100 mg/día (Ca, P, Mg, K, S, Cl y Na) y los que se requieren en cantidades inferiores a 100 mg/día (Fe, Mn, Cu, Se, I, Co, Zn y Al) (FAO/WHO, 2001; Tucker & Townsend, 2005).

A continuación, se muestran algunos minerales presentes en los alimentos y sus principales funciones.

5.1.1. CALCIO

En la composición básica del cuerpo humano, el calcio ocupa el quinto lugar después del oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno, y constituye el 1.9% en peso del cuerpo (Nordin, 1976). El 99% del calcio corporal se encuentra en el esqueleto. El 1% restante se distribuye por igual entre los dientes y los tejidos blandos, con solo el 0.1% en el fluido extracelular (FEC). Respecto al rol biológico del calcio, las sales de calcio proporcionan rigidez al esqueleto y los iones de calcio desempeñan un importante papel en la mayoría de los procesos metabólicos. Los flujos de calcio se producen en todas las membranas celulares, muchas de las funciones neuromusculares y otras funciones celulares dependen del mantenimiento de la concentración de calcio ionizado en el FEC. Además, estos flujos de calcio son importantes reguladores de los efectos

hormonales y son necesarios en la coagulación de la sangre (Badui, 2016; Campbell-Platt, 2009;). Existe una amplia variación en la ingesta de calcio entre las diferentes naciones, siendo los países en desarrollo, particularmente Asia, los que presentan los valores más bajos y por lo tanto los que presentan mayores problemas de osteoporosis en adultos y de raquitismo en niños (Wu *et al.*, 1990). Según la FAO/WHO (2001) la ingesta recomendada de calcio para adultos es de 1000 mg/día, aunque los valores para mujeres con menopausia o mayores de 65 años son ligeramente superiores, 1200 mg/día. Las fuentes de alimentos de este mineral además de la carne, pescado y productos lácteos son algunas verduras y frutas como las brevas e higos, la naranja, el kiwi y los frutos rojos (Vitoria-Miñana, 2015).

5.1.2. SODIO

El sodio desempeña muchas funciones biológicas importantes, ya que mantiene el pH sanguíneo, ayuda a mantener el equilibrio hídrico y la presión arterial. Este compuesto es esencial, tanto para las funciones nerviosas como musculares (Badui, 2016; Campbell-Platt, 2009;). La recomendación de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2012) es de 2 g Na/día, lo que equivale a 5 g NaCl/día. La ingesta de gran cantidad de sodio se ha asociado con diversas enfermedades no transmisibles como la hipertensión, las enfermedades cardiovasculares o los accidentes cerebrovasculares, de modo que rebajar el consumo puede reducir la tensión arterial y el riesgo de dichas enfermedades (Bibbins-Domingo *et al.*, 2010). Los últimos datos indican que en el mundo se consume mucho más sodio del necesario para la actividad fisiológica (Elliott & Brown, 2007), si bien numerosos estudios apuntan a un fuerte efecto protector de las frutas y verduras para el accidente cerebrovascular y de un efecto protector más débil para la enfermedad coronaria (Agudo, 2005; John *et al.*, 2002; Ness & Powles, 1997).

5.1.3. POTASIO

El potasio, catión imprescindible, facilita la conducción nerviosa y la contracción del músculo liso y esquelético, incluido el corazón. También facilita el funcionamiento de la membrana celular y de diversos sistemas enzimáticos (Tejada-Cifuentes, 2008). No obstante, la mayoría de las poblaciones del mundo consumen menos potasio de lo recomendado (Mierlo *et al.*, 2010; Stamler *et al.*, 2003). La baja ingesta de potasio está asociada con varias enfermedades no transmisibles, como la hipertensión, las enfermedades cardiovasculares, la nefrolitiasis crónica y la osteopenia. Aumentar el consumo de potasio puede reducir la tensión arterial y el riesgo de enfermedades cardiovasculares, mejorar la densidad mineral ósea, y mitigar las consecuencias negativas del consumo de grandes cantidades de sodio (Whelton *et al.*, 1997; WHO, 2012). La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2012) sugiere que los adultos consuman, como mínimo, 90 mmol/día (3510 mg/día). El potasio se encuentra en una gran variedad de alimentos no refinados, como los frijoles y guisantes, frutos secos, hortalizas como la espinaca, el repollo y el perejil, y frutas como la banana, la papaya y el dátil. El procesamiento de los alimentos reduce la cantidad de potasio en muchos productos alimentarios, y una dieta alta en alimentos procesados y baja en frutas y hortalizas frescas, a menudo, no aporta el potasio necesario.

5.1.4. MAGNESIO

El magnesio es importante en la estructura de los huesos y de los dientes. Entre el 50% y el 60% del magnesio corporal se encuentra dentro del hueso, donde se cree que es un constituyente del componente mineral hidroxapatita (fosfato de calcio). Además, el magnesio es necesario como cofactor de varias enzimas implicadas en el metabolismo energético y para la síntesis de ARN, de ADN, de proteínas e interviene en el mantenimiento del potencial eléctrico de los tejidos nerviosos y membranas celulares. De particular importancia con respecto a los efectos patológicos del agotamiento del magnesio es el papel de este elemento en la regulación de los flujos de potasio y su participación en el metabolismo del calcio (FAO/WHO, 2001; Campbell-Platt, 2009; Waterlow, 1992). La mayoría de las consecuencias patológicas de la deficiencia de magnesio son defectos neurológicos o neuromusculares (Aranda *et al.*, 2000), algunos de los cuales probablemente reflejan la influencia del elemento en el flujo de potasio dentro de los tejidos. Una disminución del contenido en magnesio en el organismo produce anorexia, náuseas, debilidad muscular, letargo y, si la deficiencia es prolongada, pérdida de peso. Además, algunos estudios sugieren que un estado de magnesio por debajo del nivel óptimo está asociado con el riesgo de algunas enfermedades, como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, el síndrome metabólico y diversos tipos de cáncer (FAO/WHO, 2001; Guerrero-Romero *et al.*, 2016; Houston, 2011; Ko *et al.*, 2014; Nielsen, 2010). El magnesio está presente en una gran variedad de alimentos, a tasas de 10-40 mg/100 g (pescados, mariscos, hortalizas verduras, arroz integral y en gran cantidad de frutas). Si bien destaca el elevado contenido que presentan los alimentos procedentes de semillas vegetales, como la harina integral, los frutos secos y las legumbres secas, donde llegan a alcanzar contenidos superiores a 100 mg/100 g (Ahlström, 2017). Por tal motivo, encontrar casos de deficiencia dietética de magnesio de una gravedad suficiente como para provocar cambios patológicos es poco usual. Por ello, el Comité Científico para Alimentos de las Comunidades Europeas en 1993, no propuso asignaciones de magnesio o ingestas de referencia de la población. En su lugar, ofreció un rango aceptable de ingestas para adultos de 150 a 500 mg/día (García, 2006). Sin embargo, algunos estudios apuntan la necesidad de reevaluar las estimaciones dado que, con mayor frecuencia, se está detectando un alto porcentaje de individuos que tienen una ingesta de magnesio insuficiente debido al aumento del consumo de alimentos refinados, que son fuentes deficientes de este mineral (AESAM, 2011; Rosanoff *et al.*, 2012; Tao *et al.*, 2016). Además, estudios como los de Van Dam *et al.* (2006) señalan que una dieta rica en alimentos con magnesio, en particular los granos integrales, está asociado con la disminución en el riesgo de padecer diabetes tipo 2.

5.1.5. HIERRO

El hierro tiene varias funciones vitales en el cuerpo. Sirve como portador de oxígeno a los tejidos de los pulmones mediante la hemoglobina de los glóbulos rojos, como medio de transporte de electrones dentro de las células y como parte integrante de importantes sistemas enzimáticos en diversos tejidos (Brock *et al.*, 1994; Mascotti *et al.*, 1995). La mayor parte del hierro en el cuerpo está presente en los eritrocitos como hemoglobina, cuya estructura permite que se cargue completamente con oxígeno en los pulmones y que se descargue parcialmente en los tejidos (por ejemplo, en los músculos). La

proteína de almacenamiento de oxígeno que contiene hierro en los músculos es la mioglobina. También existen varias enzimas que contienen hierro, los citocromos, las cuales actúan como portadores de electrones dentro de la célula. Su papel en el metabolismo oxidativo es transferir energía dentro de la célula y específicamente en las mitocondrias. Otras funciones clave para las enzimas que contienen hierro incluyen la síntesis de hormonas esteroideas y ácidos biliares; desintoxicación de sustancias extrañas en el hígado; y control de señales en algunos neurotransmisores, como los sistemas de dopamina y serotonina en el cerebro. El hierro se almacena de forma reversible en el hígado como ferritina y hemosiderina, mientras que la proteína transferrina lo transporta entre los diferentes compartimentos del cuerpo (Ahlström, 2017; Badui, 2016; FAO/WHO 2001;). Los requerimientos de hierro del organismo son muy dependientes de la edad y del sexo, oscilan entre 0.58 mg/día (niños/as de 1-3 años) y 3.27 mg/día (adolescentes-niñas de 11-14 años). Cuando la actividad física disminuye como resultado del envejecimiento, el volumen sanguíneo y la masa de hemoglobina también, lo que lleva a un cambio de hierro de hemoglobina y músculo a reservas de hierro. Esto implica una reducción de los requerimientos diarios de hierro (FAO/WHO, 2001). Según la OMS, la deficiencia de hierro es probablemente el trastorno de deficiencia nutricional más frecuente en el mundo, ello implica que la dieta no puede cubrir los requisitos fisiológicos de hierro. En todo el mundo esta es la causa más común de deficiencia de hierro, aunque en muchos países tropicales se suma el problema de las infestaciones con anquilostomas que conducen a pérdidas de sangre intestinal. Los estudios han demostrado claramente que la deficiencia de hierro tiene varios efectos negativos en funciones importantes en el cuerpo. Se ha demostrado que la capacidad de trabajo físico se reduce significativamente, la función cerebral se ve afectada también debido a que varias estructuras en el cerebro necesitan un alto contenido de hierro. Además, la deficiencia de hierro influye negativamente en los sistemas de defensa normales contra las infecciones (Beard *et al.*, 1993; Brock, 1994; Jauregui-Lobera, 1993; Scrimshaw, 1884). El hierro está presente en los alimentos en dos formas: como Fe hemo que se encuentra en la carne de pollo, reses y pescado, y como Fe no-hemo o inorgánico presente en granos, leguminosas, vegetales y lácteos. El primero tiene una mayor biodisponibilidad que el segundo, la cual depende también de la presencia de los inhibidores de su absorción (polifenoles, Ca, etc.) y de los promotores de su absorción (vitamina C, ácido cítrico, etc.) (Hallberg *et al.*, 1997). El contenido de hierro de la mayor parte de las frutas, aunque no es muy alto, si es significativo para la dieta y oscila entre 0.3-1.2 mg/100 g (Coulter & Davies, 1997).

5.1.6. COBRE

El cobre es un cofactor esencial para las reacciones de oxidación y reducción que implican oxidasas que contienen cobre. Las enzimas de cobre regulan varias vías fisiológicas, como la producción de energía, el metabolismo del hierro, maduración del tejido conjuntivo, y la neurotransmisión (Thackeray *et al.*, 2011; Uauy *et al.*, 1998). La deficiencia de cobre en la dieta es poco común, normalmente resulta de una malnutrición, malabsorción, o una ingesta excesiva de zinc y puede ser adquirida o heredada. Uno de los signos clínicos más comunes de la deficiencia del cobre es una anemia que no responde a la terapia con hierro, pero es corregida con una suplementación de cobre. Los síntomas también incluyen deficiencias en las células sanguíneas, con bajos números de glóbulos blancos, lo que puede estar acompañado de

un incremento en la susceptibilidad a infecciones. Además, se pueden presentar anomalías en el tejido óseo e incluso osteoporosis. Características menos comunes de la deficiencia de cobre pueden incluir pérdida de la pigmentación, síntomas neurológicos, y problemas de crecimiento (Bustos *et al.*, 2013; Peled *et al.*, 2002; Xu *et al.*, 1998). El cobre se encuentra en una amplia variedad de alimentos y es más abundante en vísceras, mariscos, frutos secos, y semillas. Los cereales de salvado de trigo y los productos de grano entero son también buenas fuentes de cobre. La ingesta de referencia de cobre para la población es de 1.1 mg/día y el nivel máximo de ingesta tolerable en adultos es de 10 g (García, 2006). La toxicidad del cobre es rara y la mayoría de las veces es asociada con defectos genéticos de metabolismo del cobre.

5.1.7. SELENIO

La importancia del selenio en la nutrición del ser humano ha crecido rápidamente durante los últimos 20 años (Arthur & Beckett, 1994; Levander, 1987). El selenio se ha relacionado con la protección de los tejidos corporales, contra el estrés oxidativo, el mantenimiento de las defensas, contra las infecciones y la modulación del crecimiento y el desarrollo. También es esencial en la producción de glóbulos rojos y en el metabolismo tiroideo (Campbell-Platt, 2009). Aunque es complicado evaluar los requisitos de selenio las estimaciones apuntan a un requerimiento de selenio para adultos de 7.4 y 80 µg/día (Levander, 1987). Las manifestaciones clínicas de una deficiencia de selenio son poco frecuentes en el ser humano a excepción de los habitantes de China donde se da de forma endémica la enfermedad de Keshan, en niños de 2 a 10 años y en mujeres en edad fértil, donde esta deficiencia es un factor importante en su etiología (Ge & Yang, 1993). Las manifestaciones típicas son fatiga después de realizar cualquier ejercicio incluso leve, arritmia cardíaca y palpitaciones, pérdida de apetito, e insuficiencia cardíaca. Los cambios patológicos incluyen una necrosis miocárdica multifocal y fibrosis (FAO/WHO, 2001). La zona geográfica (suelos con bajo contenido en selenio tienen una prevalencia más alta de la deficiencia de este elemento), las condiciones ambientales, el tipo de dieta y las prácticas agrícolas tienen una gran influencia en el contenido de selenio de muchos alimentos. Este hecho queda reflejado en la amplia variabilidad en el contenido de selenio de los alimentos, por ejemplo, en cereales (5-550 ng/g) y en frutas y verduras (1-60 ng/g) (FAO/WHO, 2001).

5.1.8. ZINC

El zinc está presente en todos los tejidos y fluidos del cuerpo y se ha estimado un contenido total en el cuerpo de aproximadamente 2 g. Este elemento es un componente esencial de un gran número (>300) de enzimas las cuales participan en la síntesis y degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, así como en el metabolismo de otros micronutrientes. El zinc estabiliza la estructura molecular de los componentes celulares y las membranas y contribuye de esta manera al mantenimiento de la integridad de las células y los órganos. Además, de jugar un papel muy relevante en el sistema inmunológico (Shankar & Prasad, 1998) el zinc tiene un papel esencial en la transcripción de polinucleótidos y, por lo tanto, en el proceso de expresión genética. Su participación en tales actividades fundamentales probablemente explica la esencialidad del zinc para todas las formas de vida (FAO/WHO, 2001; Gibson *et al.*,

2008). El informe de la FAO/WHO (2001) estima que las ingestas recomendadas de zinc oscilan entre 36-119 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día y 43-144 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día, para mujeres y hombres adultos, respectivamente. Las características clínicas de deficiencia severa de zinc en los seres humanos son: retraso del crecimiento, retraso en la maduración sexual y ósea, lesiones cutáneas, diarrea, alopecia, falta de apetito, mayor susceptibilidad a infecciones debidas a defectos en el sistema inmunológico y aparición de cambios de comportamiento (Hambidge, 1987; Salgueiro *et al.*, 2004). La carne roja magra, los cereales integrales, las legumbres y las leguminosas proporcionan las concentraciones más altas de zinc, entre 25-50 mg/kg de peso bruto. Los cereales procesados y el arroz pulido tienen un contenido moderado de zinc de 10-25 mg/kg . Por último, el pescado, las raíces y los tubérculos, las verduras de hoja verde y las frutas son solo fuentes modestas de zinc $<10 \text{ mg}/\text{kg}$ (Sandström, 1997).

5.1.9. CADMIO

El cadmio es un metal pesado que se encuentra en el medioambiente de forma natural asociado a minerales de cinc, cobre o plomo, siendo su concentración incrementada por la quema de combustibles fósiles, metalurgia, incineración de basuras y por el uso de fertilizantes a base de fosfatos y de lodos residuales. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado el cadmio como un agente de la categoría 1 (cancerígeno para los humanos) por existir suficiente evidencia científica que lo avala. Se trata de un elemento que presenta numerosos efectos tóxicos, siendo la disfunción renal el principal efecto por una exposición prolongada. También puede provocar desmineralización de los huesos, por acción directa o como resultado del daño renal. Según la Comisión Europea el contenido máximo de Cd en frutas es de 0.050 mg/kg peso fresco y según el comité de Comité de Expertos Conjunto FAO/OMS sobre Aditivos Alimentarios (JECFA, 2003) la ingesta semanal tolerable (IST) de este contaminante es de 2.5 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de peso corporal.

5.1.10. PLOMO

El plomo es un contaminante medioambiental natural que rara vez se encuentra en su estado elemental. Su forma inorgánica es la más común en el medioambiente. Su uso generalizado ha dado lugar a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública (FAO/WHO, 2001). Los compuestos de plomo son liberados a la atmósfera principalmente a partir de fuentes antropogénicas acumulándose en el agua y en el suelo. En el agua, el plomo se puede encontrar asociado a distintos materiales o en forma iónica dependiendo del pH y de la salinidad, principalmente. En los alimentos la forma predominante de Pb es la inorgánica que, aunque es menos toxica que la orgánica, se absorbe con mayor facilidad en el organismo. Debido a su fácil absorción y distribución por el organismo, llega a alcanzar el cerebro provocando efectos neurotóxicos. También se distribuye hacia el hígado, los riñones y los huesos, donde se deposita. El plomo acumulado con el paso del tiempo genera efectos crónicos e incluso mortalidad debido a fallos renales y cardiovasculares. Según el Reglamento 1881/2006 de la Comisión Europea el contenido máximo de Pb en frutas es de 0.10 mg/kg peso fresco, excepto para las bayas y las frutas pequeñas donde es de 0.20 mg/kg peso fresco.

5.2. ELEMENTOS MINERALES EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ

El estudio del contenido en elementos minerales de los vinos elaborados con diferentes materias primas (uva, no-uva o arroz) es de gran interés, principalmente debido a su influencia en la elaboración de estas bebidas, así como a los posibles efectos tóxicos de algunos de ellos (Galani-Nikolakaki *et al.*, 2002). La presencia de minerales en el vino y en otras bebidas alcohólicas tiene su origen en diferentes fuentes, incluidas las materias primas, el proceso de elaboración, el embotellado, la crianza, adulteraciones, etc. (Ibanez *et al.*, 2008). Sin embargo, los contenidos en elementos minerales en los vinos no se presentan de forma homogénea, pudiéndose clasificar por ello en macroelementos, elementos traza e incluso ultra traza (Klarić *et al.*, 2016).

Los vinos de frutas (uva y no-uva) han demostrado ser una excelente fuente dietética de sustancias minerales (Rupasinghe *et al.*, 2017). Los macroelementos suelen ser el grupo más representativo en estos vinos ya que juegan un papel primordial en el proceso de vinificación debido a su importancia bioquímica en la regulación del metabolismo celular de la levadura al mantener un pH óptimo y un correcto equilibrio iónico. Las sustancias minerales presentes en los vinos de frutas proceden en su mayoría del suelo donde se cultivan las frutas siendo por tanto este aporte de minerales una fuente de origen natural y que se denominan metales primarios. La concentración de estos metales primarios es característica de cada tipo de vino y comprende la parte más significativa del contenido total de éstos, por ello, diferentes autores indican que el perfil mineral de los vinos podría usarse como una "huella digital" para la caracterización de vinos en función de su origen geográfico (Kment *et al.*, 2005; Pohl, 2007; Rupasinghe & Clegg, 2007; Taylor *et al.*, 2003). Además, en los vinos de frutas también suelen estar presentes otros metales de origen secundario que proceden de impurezas externas presentes en las frutas y de otras fuentes que aparecen durante el proceso de vinificación. En este sentido, el contacto prolongado del vino con los materiales de los equipos enológicos (acero inoxidable, aluminio, latón, vidrio y madera) puede ser una fuente de contaminación del vino con Al, Cd, Cr, Cu, Fe y Zn. Además, algunos clarificantes como la bentonita pueden ser una fuente de contaminación adicional en Na, Ca o Al (Frias *et al.*, 2003; Lara *et al.*, 2005; Pohl, 2007; Sauvage *et al.*, 2002). Por otro lado, en los vinos procedentes de materias primas cultivadas en áreas industriales o próximas a carreteras se han detectado niveles más altos de Cd y Pb debido a las emisiones al aire, agua y suelo (Pohl, 2007). Por lo tanto, el contenido de metales en el vino está regulado de acuerdo con la legislación de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2008).

Los elementos minerales mayoritarios en los vinos de frutas (uva y no-uva) son el K, Na, Ca y Mg, los cuales presentan concentraciones variables dependiendo de la materia prima y de los factores ambientales que afectan al crecimiento de ésta, naturaleza del suelo, condiciones climáticas, métodos de cultivo y métodos de vinificación (Flanzy, 2003; Klarić *et al.*, 2016;). El K es el mineral principal, si bien la mayor parte se encuentra en forma de tartrato y dado que esta forma de sal es poco soluble en agua, la mayor cantidad de este macroelemento se precipita durante el proceso de fermentación y no se transfiere al vino embotellado. Las concentraciones promedio de este elemento en diferentes tipos de vinos de frutas (uva y no-uva) varían en un amplio rango de concentraciones (200-3000 mg/L, si bien, diferentes autores indican que los vinos

elaborados con frutos rojos suelen presentar los valores más altos y superiores a los de los vinos de uva (Pohl, 2007; Velić *et al.*, 2018).

El Na es un elemento que debe controlarse ya que su contenido está regulado por temas de salubridad. Su concentración depende en gran medida del tipo de suelo, de la ubicación geográfica del cultivo (proximidad al mar), del agua utilizada para el riego, de los aditivos añadido al mosto (hiposulfito de sodio como bactericida, bicarbonato de sodio para corrección de la acidez) y de la levadura agregada que, en algunos casos, puede contener pequeñas cantidades de este elemento (Pérez *et al.*, 2011; Provenzano *et al.*, 2010). Las concentraciones promedio de Na en diferentes tipos de vinos varían generalmente entre 10 mg/L y 150 mg/L siendo los vinos de uvas y los de algunos frutos rojos, como la mora los que presentan los valores más altos (Pohl, 2007; Velić *et al.*, 2018; Zoecklein *et al.*, 1995).

El Ca es un componente natural de la uva y de algunas frutas, aunque también se incorpora al vino a través de los aditivos agregados como el carbonato de calcio, para corrección de la acidez del mosto (Marengo & Aceto, 2003). Además, es el catión responsable de la precipitación del ácido tartárico (como tartrato de calcio); lo que modifica la acidez final del vino. El contenido de este metal también se ve afectado por las condiciones de cultivo (variedad de uva, zona geográfica de cultivo, tipo de suelo), y por el proceso de vinificación, entre otros (Pérez *et al.*, 2011; Pohl, 2007). En el mosto de uva este elemento suele estar en concentraciones más altas que las de Mg, mientras que en el vino la relación Ca/Mg suele ser la contraria debido a la precipitación de tartrato de calcio (Cabanis, 2003). En los vinos elaborados con frutas (uva y no-uva) las concentraciones de Na varían entre 5 mg/L y 500 mg/L, siendo los vinos elaborados con frutos rojos y uvas los que suelen presentar los niveles más altos de Na en comparación con otros vinos de frutas (Pantelic *et al.*, 2014; Plotka-Wasyłka *et al.*, 2017; Velić *et al.*, 2018). Por lo que respecta al Mg, a diferencia de las sales de K y Ca, las sales de Mg son solubles en agua, por lo que la transferencia de este mineral de las partes sólidas de la fruta al mosto es mayor. Las concentraciones de Mg en los vinos de fruta suelen cubrir también un amplio rango valores si bien según (Klarić *et al.*, 2016) los vinos de uva, mora y saúco suelen presentar las concentraciones más altas y pueden alcanzar hasta los 800 mg/L, por lo que los vinos elaborados con estas materias primas podrían considerarse una fuente excelente adicional de este mineral ya que en los últimos años se ha detectado una ingesta insuficiente de Mg debido al elevado consumo de azúcares refinados y café, entre otros (Klarić *et al.*, 2011).

Respecto de los elementos traza, algunos de ellos como el Cu, Fe y Mn, cuando presentan niveles elevados en el vino pueden tener una cierta incidencia en el aroma, sabor y en la limpidez de estos. En este sentido, el Cu, que suele proceder del tratamiento de las cepas con sulfato cúprico como plaguicida, suele producir efectos gustativos desagradables (Cámara-Hurtado *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2011). Aunque cabe mencionar que en el vino de mora el origen del Cu es natural ya que procede en gran parte de la propia fruta (Klarić *et al.*, 2016). Además, para la obtención de un vino de calidad el contenido en Fe y Cu debe ser controlado exhaustivamente ya que son los responsables de los fenómenos indeseados denominados “quiebra férrica” y “quiebra cúprica”, respectivamente (Pérez *et al.*, 2011). Por encima de los niveles de trazas, el Fe altera el sistema redox del vino en favor de la oxidación y participa en la formación de complejos con taninos y fosfatos lo que favorece la inestabilidad del vino. Mientras

que el Cu a niveles altos juega un papel importante en la catalización de la oxidación de los polifenoles del vino. Por el contrario, a bajas concentraciones, estos dos elementos están relacionados con la actividad metabólica de los microorganismos y con los procesos de fermentación como activadores enzimáticos y componentes funcionales de las proteínas (Plotka-Wasyłka *et al.*, 2017). Además, el Cu, Fe y Mn son responsables, en parte, de los cambios en la estabilidad y en la calidad sensorial del vino después del embotellado (Pohl, 2007). En cuanto a las concentraciones promedio de estos elementos en los vinos de frutas, los valores oscilan entre 0.05 a 25 mg/L, siendo los contenidos de los vinos de frutas (no-uva) similares a los de los vinos de uva tradicionales (Klarić *et al.*, 2016; Pohl, 2007; Rupasinghe & Clegg, 2007; Taylor *et al.*, 2003).

El Zn es un microelemento importante porque actúa como cofactor de enzimas involucradas en reacciones metabólicas. El Zn (II), a bajas concentraciones, es importante en el proceso fermentativo, mientras que a elevadas concentraciones influye negativamente en la calidad de los vinos, particularmente en sus propiedades organolépticas (Ibanez *et al.*, 2003). Según varios autores (Klarić *et al.*, 2016; Gąstoł & Domagała-Świątkiewicz, 2012; Pohl, 2007; Stępniewska *et al.*, 2016) el contenido de Zn en vinos de frutas (uva y no-uva) oscila en un amplio rango de valores (0.1 mg/L- 10 mg/L) si bien los vinos elaborados con frutos rojos suelen presentar valores superiores a los de los vinos de uva.

Durante los últimos años el control sobre la presencia de Al en los vinos ha aumentado significativamente debido a los posibles efectos tóxicos de este elemento y que parecen estar relacionados con el Alzheimer. Este aumento puede tener su origen en el uso de bentonita durante el proceso de filtración o, al contacto prolongado de los vinos con los tanques de fermentación (Lara *et al.*, 2005; Seruga *et al.*, 1994). Según la OIV (2008) la concentración máxima permitida de este mineral en el vino es de 10 mg/L, si bien las concentraciones promedio de este metal en diferentes tipos de vinos de frutas (uva y no-uva) oscila entre 0.02 y 4 mg/L. Aunque, en los últimos años, análisis del contenido de Al en vinos elaborados con uvas y con frutos rojos han detectado niveles ligeramente superiores a los permitidos (Klarić *et al.*, 2016; Pohl, 2007; Velić *et al.*, 2018).

El Se es un oligoelemento esencial, que tiene un papel fundamental en el sistema biológico como parte integral de las enzimas pero que es tóxico si se ingiere en cantidades superiores a la permitida. Generalmente, los contenidos promedio de este elemento en los vinos de frutas (uva y no-uva) son generalmente bajos (<1 mg/L) aunque en determinados vinos de uva se han detectado valores próximos a 5 g/L (Frias *et al.*, 2003).

Otros metales tóxicos como As, Cd, Hg y Pb también pueden encontrarse como contaminantes de los alimentos, siendo perjudiciales para la salud (Belitz *et al.*, 2009). Su presencia en los vinos se debe principalmente a factores antropogénicos como residuos de productos agroquímicos utilizados en las prácticas de cultivo de las plantas, contaminación ambiental de plantaciones etc. La concentración máxima permitida de estos metales en los vinos está regulada por la OIV (OIV, 2008). Diferentes estudios realizados en vinos de frutas (uva y no-uva) indican que la mayoría de ellos presentan generalmente niveles inferiores al límite máximo permitido. Además, de todos ellos el

Hg es el que suele detectarse a niveles más bajos (Klarić *et al.*, 2016; Pohl, 2007; Velić *et al.*, 2018).

Por otro lado, en los vinos de arroz, los elementos minerales no solo son parte importante de su composición, sino que también contribuyen a su aroma, sabor y apariencia. La mayoría de los elementos minerales presentes en el vino de arroz provienen de las materias primas utilizadas en la fermentación. Durante ésta el almidón, las proteínas y los lípidos del denominado arroz glutinoso y del trigo se descomponen por efecto de la levadura, el moho y otros microorganismos. Además, otra fuente importante de aporte de minerales en el vino de arroz es el agua empleada ya que no solo actúa como disolvente para una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas, sino que también es el componente principal del vino de arroz terminado (Shen *et al.*, 2013). Por estos motivos, el perfil mineral en el vino de arroz es muy variable debido a diferencias en la composición de las variedades de arroz empleadas, al agua, así como a los diferentes procesos de elaboración empleados por las bodegas. En los últimos años, el contenido en elementos minerales en los vinos de arroz está siendo empleado como una herramienta útil para certificar a los vinos de mayor calidad y protegerlos de falsificaciones.

En los vinos de arroz, de forma general, están presentes 19 elementos minerales en un amplio rango de concentraciones, desde mg/L (macroelementos) hasta µg/L (oligoelementos). Dentro del primer grupo se encuentran el Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn. (mg/L), mientras que en el segundo se incluyen al V, Cr, Co, Ni, As, Se, Mo, Cd, Ba y Pb. El elemento mayoritario es con diferencia el K con concentraciones incluso superiores a 600 mg/L. Le siguen en importancia cuantitativa el Mg, Ca y Na, si bien los contenidos no suelen superar los 300 mg/L (Li *et al.*, 2008; Shen *et al.*, 2013). Sin embargo, Mn, Fe, Cu y Zn, aunque son macroelementos y están estrechamente relacionados con el proceso de vinificación del vino de arroz, suelen presentar concentraciones menores, no superando generalmente los 10 mg/L (Li *et al.*, 2008; Shen *et al.*, 2013). En lo que respecta a los niveles de oligoelementos en el vino de arroz, los valores son muy diferentes oscilando desde valores cercanos a 1 µg/L (Se) hasta 200 µg/L (Ba) (Li *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2013).

Por último, es importante indicar que el aumento en las dosis de fertilizantes y pesticidas empleados durante el cultivo del arroz está incrementando significativamente la concentración de algunos de elementos minerales, como Fe, Co, Ni y Se, entre otros, lo que incide de forma negativa en la calidad de estos vinos (Qian *et al.*, 2019).

5.3. AMINOÁCIDOS

Los aminoácidos son constituyentes importantes de los alimentos ya que suministran los componentes básicos necesarios para la biosíntesis de proteínas. Además, contribuyen directamente al sabor de los alimentos y son precursores de compuestos aromáticos y de los colores formados durante las reacciones térmicas o enzimáticas en la producción, procesamiento y almacenamiento de alimentos (Belitz *et al.*, 2009).

Los aminoácidos, unidades más simples de la estructura común a todas las proteínas, tienen en común una columna vertebral N-C α -C que consiste en un átomo de carbono (C α) que está unido covalentemente a un grupo amino (-NH₂), un grupo carboxílico (-

COOH), un átomo de hidrógeno y uno de los 20 sustituyentes denominados grupos R o cadenas laterales. Así, la fórmula general que describe a 19 de los 20 aminoácidos, exceptuada la prolina, es $^+\text{NH}_3\text{-CHR-COO}^-$. La prolina difiere de los otros aminoácidos en que su grupo amino es secundario, formado por un cierre en anillo entre el grupo R y nitrógeno amino (Ahlström, 2017; McKee & McKee, 2014; Nelson & Cox, 2018). En la Tabla 1.2 se listan los nombres y abreviaturas de los aminoácidos.

Tabla 1.2. Nombres y códigos de los 20 aminoácidos.

Nombre	Código de tres letras	Código de una letra	Nombre	Código de tres letras	Código de una letra
Alanina	Ala	A	Leucina	Leu	L
Arginina	Arg	R	Lisina	Lys	K
Asparagina	Asn	N	Metionina	Met	M
Ácido aspártico	Asp	D	Fenilalanina	Phe	F
Cisteína	Cys	C	Prolina	Pro	P
Glutamina	Gln	Q	Serina	Ser	S
Ácido glutámico	Glu	E	Treonina	Thr	T
Glicina	Gly	G	Triptófano	Trp	W
Histidina	His	H	Tirosina	Tyr	Y
Isoleucina	Ile	I	Valina	Val	V

Existen diferentes formas de clasificar los aminoácidos. Una de las más empleadas es la basada en las propiedades de sus cadenas laterales o grupos R, en especial en su polaridad, o tendencia a interactuar con el agua a pH biológico (próximo a pH 7) ya que la polaridad de los grupos R varía enormemente desde totalmente apolar o hidrofóbico a altamente polar o hidrofílico, con diferentes gradaciones dentro de cada clase (Nelson & Cox, 2018). Las cinco clases principales de aminoácidos basadas en esta propiedad son:

5.3.1. AMINOÁCIDOS CON GRUPOS R APOLARES ALIFÁTICOS

Los grupos R de esta clase de aminoácidos son apolares e hidrófobos y participan de forma importante en el mantenimiento de la estructura tridimensional de las proteínas. Contienen principalmente grupos R hidrocarbonados que pueden ser aromáticos o alifáticos y se incluyen, a la alanina, valina, leucina, isoleucina, prolina, metionina y glicina (Figura 1.21) (McKee & McKee, 2014; Nelson & Cox, 2018).

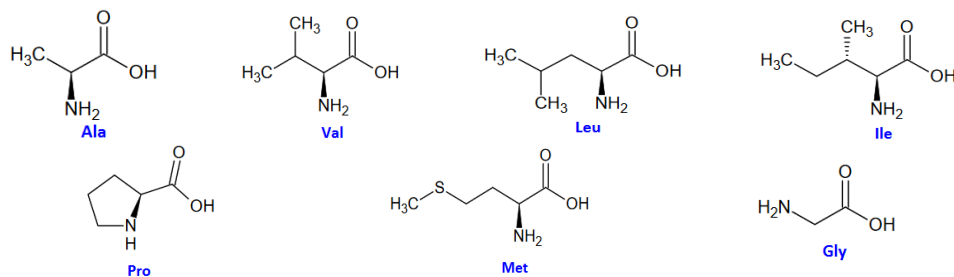


Figura 1.21. Estructuras de los aminoácidos con grupos R apolares, alifáticos.

5.3.2. AMINOÁCIDOS CON GRUPOS R POLARES SIN CARGA

Los grupos R de estos aminoácidos son más solubles en agua, o más hidrofílicos, que los de los aminoácidos apolares, debido a que contienen grupos funcionales que forman puentes de hidrógeno con el agua. En esta clase se incluyen la serina, asparagina, glutamina, treonina y cisteína (Figura 1.22) (Feduchi *et al.*, 2021; Nelson & Cox, 2018).

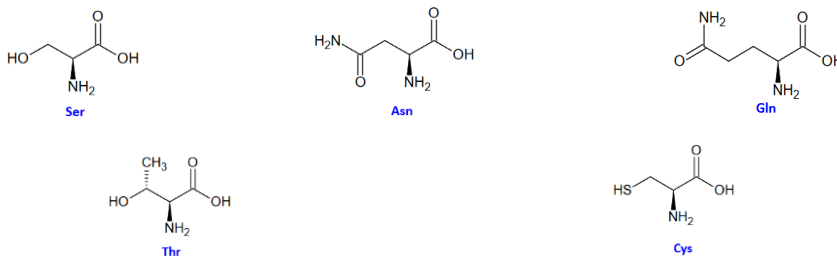


Figura 1.22. Estructuras de los aminoácidos con grupos R polares sin carga.

5.3.3. AMINOÁCIDOS CON GRUPOS R CARGADOS NEGATIVAMENTE (ÁCIDOS)

Los grupos R más hidrofílicos son aquellos que están cargados, positiva o negativamente. Los aminoácidos en los que los grupos R tienen una carga negativa al pH fisiológico son el aspartato y el glutamato, cada uno de los cuales tiene un segundo grupo carboxilo (Figura 1.23) (Feduchi *et al.*, 2021; Nelson & Cox, 2018).

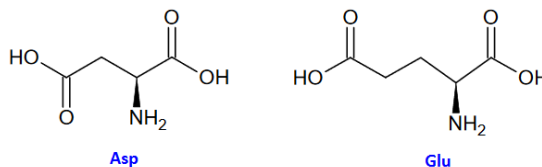


Figura 1.23. Estructuras de los aminoácidos con grupos R cargados negativamente (ácidos).

5.3.4. AMINOÁCIDOS CON GRUPOS R CARGADOS POSITIVAMENTE (BÁSICOS)

Dentro de este grupo se encuentran tres aminoácidos, la lisina, la arginina y la histidina (Figura 1.24). La histidina, al ser el único aminoácido que posee una cadena lateral ionizable con un pKa próximo a la neutralidad, puede estar cargado positivamente como no tener carga. Por este motivo, los residuos de histidina facilitan muchas reacciones catalizadas por enzimas al servir de dadores/aceptores de protones (Feduchi *et al.*, 2021; Nelson & Cox, 2018).

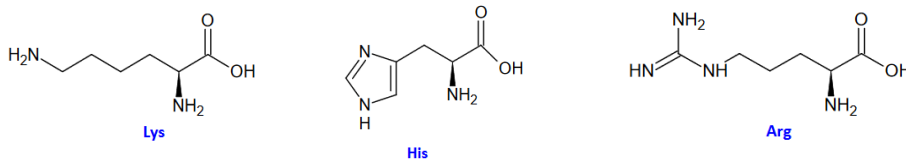


Figura 1.24. Estructuras de los aminoácidos con grupos R cargados positivamente (básicos).

Según sus funciones nutricionales/fisiológicas, los aminoácidos se pueden diferenciar en aminoácidos esenciales (valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, triptófano, metionina, treonina, histidina (esencial para bebés), lisina y arginina ("semi-esencial") y aminoácidos no esenciales (glicina, alanina, prolina, serina, cisteína, tirosina, asparagina, glutamina, ácido aspártico y ácido glutámico).

Entre sus funciones, los aminoácidos ayudan a descomponer los alimentos, al crecimiento y reparación de los tejidos corporales, intervienen en los procesos de contracción muscular y mantienen el equilibrio de ácidos y bases en los organismos. Además, están relacionados con la síntesis de proteínas, son precursores de los componentes aromáticos y están involucrados en la expresión del color de los alimentos frescos y procesados (Feduchi *et al.*, 2021; Jakubke & Jeschkeit, 1977; Nelson & Cox, 2018).

5.4. AMINOÁCIDOS EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ

Los aminoácidos en los mostos de uva desempeñan un papel de suma importancia durante la fermentación alcohólica ya que constituyen una fuente de nitrógeno importante para el metabolismo de las levaduras (Bell & Henschke, 2005; Ribereau-Gayon *et al.*, 2006; Valero *et al.*, 2003). En el vino de frutas (no-uva) los aminoácidos proceden de la enzimólisis proteica en el jugo de fruta, de la fermentación llevada a cabo por las levaduras y de las propias células de levadura, siendo el contenido y la composición de estos metabolitos uno de los indicadores de calidad más importantes de este tipo de vinos (Deng *et al.*, 2016).

La concentración de aminoácidos en los vinos de uva depende de diversos factores que incluyen la variedad de uva, el tipo de fertilización empleado, las características del suelo y el clima, el manejo de la viña y las prácticas enológicas. Los aminoácidos representan en la uva entre el 25-30% del total de compuestos nitrogenados, siendo la prolina y la arginina los aminoácidos más abundantes en la mayoría de las variedades de uva blancas y tintas. Aunque, en algunos casos muy particulares la α -alanina es el aminoácido predominante (Garde-Cerdán *et al.*, 2014; Ingledew *et al.*, 1987). En esta línea, destacan algunos estudios sobre la incidencia en la composición de aminoácidos cuando el viñedo se somete a estrés hídrico o se aumenta su riego. El déficit de agua parece afectar más al metabolismo de los aminoácidos de variedades de uva tinta, mientras que, por el contrario, el riego aumenta las concentraciones de aminoácidos en las variedades de uva blanca (Deluc *et al.*, 2009; Ortega-Heras *et al.*, 2014). Por todo lo descrito anteriormente, un gran número de autores (Herbert *et al.*, 2006; Soufleros *et al.*, 2003; Torrea *et al.*, 2011) afirman que la composición aminoacídica del vino de uva

es una herramienta útil para identificar el tipo de vino según la materia prima empleada, origen geográfico, cosecha, etc.

Además, el perfil de aminoácidos de los mostos obtenidos de uvas influye en la calidad final del vino debido a las transformaciones que sufren los aminoácidos durante el proceso de fermentación, produciendo compuestos volátiles como alcoholes superiores, ácidos grasos volátiles, ésteres etílicos y aldehídos que definen el aroma del vino (Callejón *et al.*, 2010; Swiegers *et al.*, 2005). Hernández-Orte *et al.* (2002, 2006) encuentran una relación directa entre la composición de aminoácidos y la composición volátil de los vinos de uvas, por ejemplo, los alcoholes isoamílicos, isobutil alcohol y 2-fenil etanol se derivan de la leucina, isoleucina y valina, respectivamente. Además, según Fraile *et al.* (2000), la formación de varios alcoholes superiores en vinos de uva tiene lugar al final de la fermentación alcohólica, cuando ya se han consumido la mayoría de los aminoácidos. Si bien, parece ser que los aminoácidos que más influyen en el proceso de fermentación son la treonina, la fenilalanina y el ácido aspártico (Hernández-Orte *et al.*, 2006). Debido a esta relación tan directa entre aminoácidos y compuestos volátiles, diferentes autores (Chen *et al.*, 2014; Garde-Cerdan & Ancin-Azpilicueta, 2008) han demostrado que la adición de una mezcla de aminoácidos al mosto de uva cambia el perfil aromático del vino obtenido, principalmente por la formación de ésteres y ácidos volátiles.

En otros vinos de frutas (lichi y papaya) también se ha estudiado el impacto que tiene sobre el aroma el suplementar el mosto con diferentes aminoácidos. Los resultados mostraron una importante variación en el contenido de alcoholes superiores y ésteres, principalmente, revelándose como una herramienta útil para modular positivamente el perfil volátil de estos vinos (Lee, *et al.*, 2011a, 2011b). No obstante, según Chen *et al.* (2014) la adición selectiva de aminoácidos en los vinos se debe realizar con precaución para prevenir los efectos negativos relacionados con la salud y el sabor.

Por otro lado, la cantidad de aminoácidos que queda en el vino de uva tras la fermentación influye también en la formación de aromas durante la crianza (Escudero *et al.*, 2007). En este sentido, los vinos con altas concentraciones de aminoácidos residuales son más propensos a la inestabilidad microbiológica y a la formación de aminos biogénicas y carbamato de etilo, que tienen un impacto negativo en la calidad del vino y son nocivas para la salud (Garde-Cerdán *et al.*, 2011; Herbert *et al.*, 2006). Sin embargo, Torrea *et al.*, 2011 indican que no existe una relación directa entre el contenido de aminos biogénicas en el vino y la utilización de sus aminoácidos precursores durante la fermentación. Según White & Hart (1992) se hace necesario un análisis más exhaustivo del contenido de aminoácidos para detectar aminoácidos potencialmente tóxicos producidos por las nuevas técnicas de procesamiento de alimentos. Además, diferentes estudios indican que los aminoácidos no sólo están relacionados con el perfil aromático de los vinos de uva, sino que también son sustancias precursoras del sabor. La descarboxilación del ácido glutámico produce ácido γ -aminobutírico, el cual a concentraciones superiores a su umbral de reconocimiento aporta sabores agrios al vino y una sensación seca en boca (Belitz *et al.*, 2009).

En los últimos años existe una creciente demanda por los vinos de frutas (no uva) y de arroz debido a la presencia de niveles significativos de componentes biológicamente

activos como son los aminoácidos; los cuales, son componentes esenciales de las proteínas y juegan un papel importante en el metabolismo energético, en la neurotransmisión y en el transporte de lípidos. En esta línea, Zhong *et al.* (2020) han estudiado la composición aminoacídica del vino de kiwi, detectando 16 aminoácidos entre los que se incluyen aminoácidos esenciales como la treonina, valina, metionina, isoleucina, leucina, fenilalanina y lisina. Chen *et al.* (2002) indican que el vino de arroz es abundante en aminoácidos, motivo por el cual es reconocido como una de las bebidas más importantes en la medicina tradicional china. La concentración total en aminoácidos en estos vinos oscila entre 2500 a 5300 mg/L, valores superiores a los que generalmente presentan los vinos elaborados con otras materias primas (del Signore *et al.*, 2000; Soufleros *et al.*, 2003). En el vino de arroz los aminoácidos provienen principalmente de una reacción de hidrólisis de proteínas y microorganismos y del trigo, que sirve como fuente de nitrógeno durante la fermentación alcohólica (Zhou, 2002; Zhu *et al.*, 2008).

De igual forma que se ha comentado anteriormente para los vinos de uva, los aminoácidos son también precursores de los compuestos del aroma que forman el perfil aromático del vino de arroz, ya que, durante la fermentación, la levadura utiliza algunos aminoácidos como nutrientes, mientras que otros los transforma en otros compuestos como son los alcoholes superiores y ésteres, principalmente (Gu, 1996). Además, los aminoácidos contribuyen directamente al sabor del vino de arroz ya que se les reconocen varios sabores y sensaciones, como umami (ácido aspártico, ácido glutámico, asparagina, glutamina), dulce (glicina, alanina, serina, treonina, cisteína, metionina, prolina), amargo (histidina, arginina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, lisina) y áspero (tirosina). Los aminoácidos de sabor amargo y los de sabor dulce suelen representar en estos vinos más del 40% y del 30% del total de aminoácidos, respectivamente (Cao *et al.*, 2010). Esta relación tan directa de los aminoácidos con el perfil aromático y gustativo de los vinos de arroz ha llevado a autores como Shen *et al.* (2010) a utilizar la concentración de aminoácidos como un parámetro útil para evaluar la calidad general de este tipo de vinos, su procedencia, tiempo de envejecimiento o crianza y para detectar posibles adulteraciones o fraudes.

5.5. COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen sustancias químicas de interés biotecnológico; debido a sus propiedades organolépticas, farmacológicas y nutricionales. Estas sustancias son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, tanto en su desarrollo normal como en respuesta a condiciones de estrés (contaminación medioambiental, radiaciones ultravioletas, temperaturas extremas, incidencia de plagas, parásitos, entre otras) (Hassimotto *et al.*, 2005).

Por lo general, se encuentran en frutas, verduras, plantas medicinales, especies, legumbres, cereales, frutos secos, granos, semillas, chocolate y en bebidas como el té, café, vino y cerveza (García, 2006; Ivanova *et al.*, 2012). Su presencia y concentración en las plantas, depende de factores como la especie o variedad, técnica y condiciones de cultivo, estado de maduración, almacenamiento, zona de la planta y época del año, etc. (Parpinello *et al.*, 2009).

Estos compuestos son, en gran parte, los responsables de las principales características organolépticas de los alimentos y bebidas procedentes de las plantas; pues están relacionados con el color de las frutas y vegetales (pigmentos amarillos, naranjas, rojos y/o azules), sabor (sobre todo en el amargor y astringencia), olor y estabilidad oxidativa. El comportamiento de estas sustancias químicas está muy relacionado con el tipo de alimento, forma de conservación y consumo; así como por la participación en reacciones muy diversas, como la copigmentación, la polimerización o el pardeamiento, entre otras. En este caso, se puede citar como ejemplo, el proceso de oxidación de estos compuestos en los vinos; lo cual provoca un cambio en la coloración y de sus características sensoriales, como astringencia, amargor y cuerpo (Márquez, 2012; Parpinello *et al.*, 2009).

Por otro lado, una ingesta elevada de compuestos fenólicos se relaciona con efectos positivos para la salud. Un estudio realizado por Seigneur *et al.* (1990) en voluntarios que recibieron diariamente durante 15 días, 500 mL de vino tinto, de vino blanco o un volumen equivalente de alcohol contenido en el vino, demostró que el vino tinto, no así el blanco, disminuyó significativamente la agregabilidad de las plaquetas inducida por el ADP, un efecto considerado como protector de la trombosis. Esta acción sobre la agregabilidad plaquetaria se atribuye a los polifenoles presentes en el vino tinto (Elwood *et al.*, 1991; Seigneur *et al.*, 1990). Además, existen diferentes estudios que demuestran las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, cardioprotectoras, vasodilatadoras, anticancerígenas, antitrombóticas, etc., de los compuestos fenólicos (Biesalski *et al.*, 2009; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2014; Sánchez-Moreno, 2002; Wang *et al.*, 2014; Yawadio *et al.*, 2007).

Existen en la naturaleza aproximadamente 8000 compuestos fenólicos, los cuales poseen como estructura común, un anillo bencénico con al menos un sustituyente hidroxilo. Los mismos pueden ser clasificados atendiendo a su estructura química, teniendo en cuenta el número de átomos de carbono que lo constituyen y la estructura del grupo fenólico elemental. Muchos de los compuestos fenólicos se encuentran en la naturaleza asociados a mono- o polisacáridos (glucósidos), o como derivados funcionales tales como ésteres o metil-ésteres (García-Puente *et al.*, 2006; Parpinello *et al.*, 2009). Al tomar en cuenta la clasificación según su estructura química se agrupan en dos grandes grupos: flavonoides y no flavonoides.

5.5.1. COMPUESTOS FENÓLICOS NO FLAVONOIDEOS

Los principales compuestos no flavonoides de importancia alimentaria son los ácidos fenólicos, dentro de los que se encuentran los ácidos hidroxibenzoicos, los ácidos hidroxicinámicos y los estilbenos. Estos compuestos se caracterizan por presentar una elevada capacidad antioxidante proporcional a la presencia de grupos hidroxilo y a una mayor separación del grupo carbonilo al anillo aromático. Por ejemplo, los ácidos hidroxicinámicos son más efectivos en términos de la actividad antioxidante que los ácidos hidroxibenzoicos (Dziedzic & Hudson, 1984).

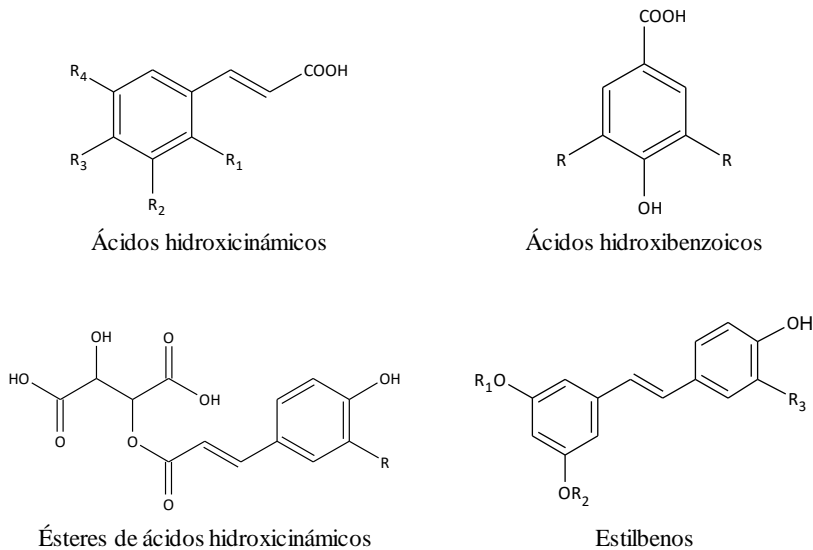


Figura 1.25. Estructuras de los principales compuestos fenólicos no flavonoideos

Estos últimos compuestos presentan una estructura de 7 átomos de carbono en forma de un único anillo bencénico sobre el que se une una cadena alifática (Figura 1.25). Están presentes en alimentos tales como frutas, verduras y cereales. Muchos estudios han informado de la actividad biológica de los ácidos hidroxibenzoico, por ejemplo, el ácido protocatéquico presentó un efecto protector frente a lesiones de hígado en modelos animales (Lui *et al.*, 2002). El ácido gálico, es el compuesto más importante dentro de esta familia y se encuentra en altas concentraciones en vinos tintos (65-165 mg/L) y blancos (4-11 mg/L), y bajo la forma de éster de flavanol (Márquez, 2012).

En relación con los ácidos hidroxicinámicos, su estructura química se basa en un anillo bencénico con una cadena alifática de 3 carbonos y uno o varios grupos hidroxilos (Figura 1.25). Aparte de su capacidad antioxidante, los ácidos hidroxicinámicos han mostrado actividad antígenotóxica y antiproliferativa en células (Ferguson *et al.*, 2005; Janicke *et al.*, 2005; Tejada *et al.*, 2014). Son unos de los ácidos fenólicos más representativos encontrados en las uvas, manzanas, arándanos, espinacas, brócoli, col rizada, el café y los cereales (Clifford & Scalbert, 2000; Peñarrieta *et al.*, 2008; Tejada *et al.*, 2014). Dentro de esta familia destacan los ácidos cafeico, *p*-cumárico y ferúlico, aunque estos normalmente se encuentran en forma de ésteres del ácido tartárico, dando lugar a los ácidos caftárico (ácido cafeoil tartárico), cutárico (ácido *p*-cumaril tartárico) y fertárico (ácido feruloil tartárico). Estos compuestos hidroxicinámicos se asocian a procesos de pardeamiento y son precursores de compuestos fenólicos volátiles (Kallithraka *et al.*, 2001).

Por último, los estilbenos poseen dos anillos bencénicos unidos por un puente etileno (Márquez, 2012), esta familia de compuestos tiene especial relevancia en los últimos años debido a que se ha comprobado sus propiedades beneficiosas para la salud (Dvorakova & Landa, 2017; Temsamani *et al.*, 2016; Vang *et al.*, 2011).

5.5.2. COMPUESTOS FENÓLICOS FLAVONOIDEOS

Los flavonoides son un tipo particular de los polifenoles presentes en plantas, algunos de ellos responsables, del color de las flores y frutas. Estas moléculas presentes en los vegetales tienen como función proteger al organismo del daño producido por agentes oxidantes, como los rayos ultravioletas, la contaminación ambiental, sustancias químicas, etc. El cuerpo humano no puede producir estas sustancias químicas protectoras, por lo que deben obtenerse mediante la alimentación o en forma de suplementos. Están ampliamente distribuidos en plantas, frutas, verduras y en diversas bebidas y representan componentes sustanciales de la parte no energética de la dieta humana (Aherne & O'Brien, 2002; Martínez-Flórez *et al.*, 2002).

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C₆-C₃-C₆), compuesto por dos anillos fenilos (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano (heterocíclico) (Figura 1.26). Estos grupos pueden subdividirse en otras 13 clases, con más de 5000 compuestos descritos (Parpinello *et al.*, 2009). El anillo A se encuentra normalmente dihidroxilado en las posiciones 5 y 7, mientras que el B puede estar mono, di o trihidroxilado y presentar diferentes grados de metoxilación.

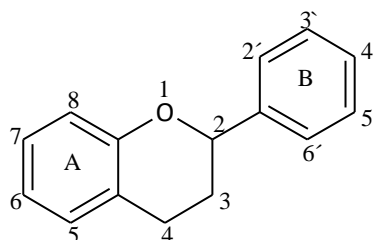


Figura 1.26. Estructura básica de los compuestos flavonoides

Dependiendo del grado de insaturación de su anillo C, aparecen las distintas familias de flavonoides, tales como flavonoles, flavonas, flavanoles, flavan-3-oles y antocianidinas. En este sentido, los flavonoles presentan un ciclo pirona, los flavanoles monómeros y polímeros (taninos) presentan un ciclo pirano completamente saturado y en el caso de las antocianidinas, el anillo C aparece en forma pirilio con una carga catiónica (catión flavilio). Los flavonoides contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos y excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere una gran capacidad antioxidante (Havsteen, 1983; Pérez, 1994). La actividad de los flavonoides como antioxidantes depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxifenólicos y de la relación estructural entre las diferentes partes de la estructura química (Bors *et al.*, 1990). Por ello, desempeñan un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo, y tienen efectos terapéuticos en un elevado número de patologías, incluyendo la cardiopatía isquémica, la aterosclerosis o el cáncer (Martínez-Flórez, *et al.*, 2002). Además de sus conocidos efectos antioxidantes, los compuestos flavonoides o flavonoides presentan otras propiedades que incluyen la estimulación de las comunicaciones a través de las uniones en hendidura, el impacto sobre la regulación del crecimiento celular y la inducción de enzimas de detoxificación (Stahl *et al.*, 2002).

5.5.3. COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Actualmente, hay un interés creciente por los compuestos fenólicos debido a su capacidad antioxidante, tanto como captadores de radicales libres como quelantes de

metales; ya que pueden unirse a los polímeros biológicos, tales como enzimas, transportadores de hormonas, y ADN; quelar iones metálicos transitorios, tales como Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , catalizar el transporte de electrones, y depurar radicales libres. (Cadenas & Packer, 1996; Frankel *et al.*, 1995)

Estas propiedades antioxidantes son el motivo de sus posibles implicaciones en la salud humana, como son la prevención del cáncer, de las enfermedades cardiovasculares o incluso de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Birt *et al.*, 2001). También existen sustancias con actividad estrogénica (fitoestrógenos) como las isoflavonas, los lignanos y el estilbeno resveratrol, y otras con propiedades antimicrobianas. Estudios epidemiológicos han demostrado que una ingesta rica en flavonoides se correlaciona con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular entre otras (Benito, 2001; Birt *et al.*, 2001; Gimeno, 2004).

Los fenoles son conocidos por presentar capacidad antioxidante debido a su facilidad para eliminar fácilmente radicales peróxidos lipídicos mediante la donación de átomos de hidrógeno. Existe una relación estructura-actividad de compuestos como tocoferoles, compuestos fenólicos y algunas vitaminas para eliminar radicales mediante la donación de un hidrógeno fenólico, que además permite la estabilización del radical antioxidante formado por deslocalización de electrones (Frankel & Meyer, 2000). De esta forma los compuestos con propiedades antioxidantes se han convertido en un tema de interés en los últimos años. Una búsqueda bibliográfica reveló que el número de publicaciones sobre antioxidantes y estrés oxidativo casi se ha triplicado en la última década (3049 publicaciones en 2009 y 8733 en 2018 y 2019) y comparando desde el año 2000 (1013 publicaciones) las investigaciones se han multiplicado por 8.

Existen numerosos métodos publicados que pretenden medir la capacidad antioxidante total *in vitro* (Frankel & Meyer, 2000) en los alimentos. Dependiendo de las reacciones involucradas, estos ensayos que miden la actividad antioxidante pueden clasificarse en dos tipos: ensayos basados en reacciones de transferencia de átomo de hidrógeno (HAT) y ensayos basados en reacciones de transferencia de electrones (ET). Los ensayos HAT cuantifican la capacidad de un compuesto de donar un átomo de hidrógeno. La reacción de transferencia de protones es un paso clave en las reacciones de radicales en cadena, por lo que los métodos HAT son más importantes en este tipo de reacciones. Los ensayos ET miden la capacidad de un antioxidante en la reducción de un oxidante, que suele cambiar de color cuando se reduce. El grado de cambio de color se correlaciona con las concentraciones de antioxidantes de la muestra (Huang *et al.*, 2005).

Dos métodos muy extendidos actualmente y usados ampliamente en la determinación de la capacidad antioxidante de alimentos son los denominados ensayos DPPH y ABTS. Estos hacen referencia a la molécula coloreada utilizada como captador de protones o electrones, DPPH es 2,2-difenilo-1-picrylhidrazil, mientras que ABTS es el nombre comercial de la sal de diamonio 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), las estructuras de ambas moléculas se muestran en la Figura 1.27. Los ensayos DPPH y ABTS son reproducibles, rápidos y sensibles. Existen otro tipo de ensayos como el ensayo de actividad antioxidante celular (CAA), este en comparación con los ensayos químicos, constituye un nuevo enfoque para la determinación de la actividad antioxidante que podría tener en cuenta la bioactividad fenólica en las

muestras. También existen los ensayos basados en la capacidad de eliminación de moléculas reactivas del oxígeno (en inglés ROS), aunque estos ensayos suelen evaluar la eficacia de ciertas enzimas (Huang *et al.*, 2005).

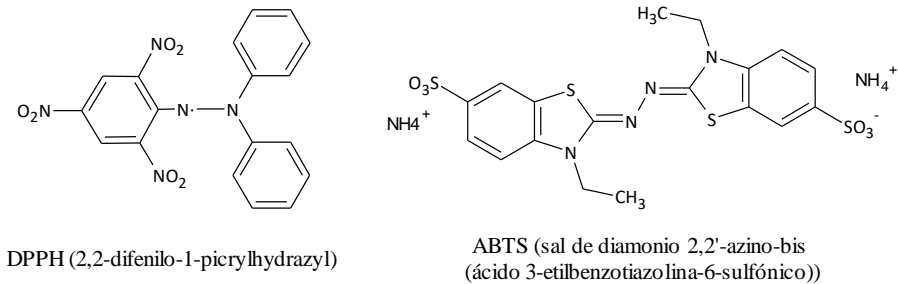


Figura 1.27. Estructura de las moléculas de DPPH y ABTS

La aplicación de múltiples ensayos basados en ET para medir la capacidad reductora de un antioxidante a menudo conduce a una excelente correlación lineal entre los resultados. De hecho, se puede comprobar que existen numerosos trabajos de investigación sobre antioxidantes con excelente correlación ($R^2 > 0.99$) entre el contenido total fenólico y la actividad antioxidante (medido por FRAP, TEAC, o ensayos DPPH) (Connor *et al.*, 2002; Serratos *et al.*, 2011).

5.6. COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ

Los vinos se caracterizan por su composición en compuestos fenólicos, estos proceden de las frutas con las que se elaboran y pueden evolucionar durante el procesado y envejecimiento de estas bebidas apareciendo nuevos compuestos derivados que pueden modificar las características organolépticas de los vinos. Además, existe probada evidencia científica de los beneficios del consumo adecuado de vino y su relación con la prevención de diferentes enfermedades como las oftalmológicas, disfunciones cardiovasculares y digestivas, diabetes, aterosclerosis, envejecimiento, e incluso alergias, tumores e infección por virus (Sánchez-Moreno *et al.*, 2003; Rasouli *et al.*, 2017) y se atribuyen en parte a la presencia de estos compuestos fenólicos. Por todo ello, estos compuestos se pueden considerar bioactivos ya que intervienen en la eliminación de radicales libres que pueden causar daños a estructuras celulares y al ADN (Sanchez-Moreno *et al.*, 2003), regulan las enzimas digestivas y quelan iones metálicos (Kaur & Kapoor, 2001; Rasouli *et al.*, 2017; Vinson *et al.*, 2001). También es conocido el efecto protector de estas moléculas sobre los fenómenos de envejecimiento de la piel, inducidos por los rayos UV y su relación con una mejor circulación sanguínea y un metabolismo corporal mejorado (Seo *et al.*, 2009).

Los vinos de uva destacan por su perfil fenólico, estudios realizados en vinos de uva por Natella *et al.* (2007) demostraron diferentes propiedades protectoras de esta bebida frente a enfermedades cardiovasculares, antiinflamatorias y de actividad antitumoral (Demirel *et al.*, 2007; Natella *et al.*, 2001). Lo cual se relaciona con la presencia de compuestos fenólicos, fundamentalmente flavonoides, que actúan como agentes

antioxidantes, antiinflamatorios y como protectores de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Los datos obtenidos demostraron, tanto *in vitro* como *in vivo*, que los compuestos fenólicos inhibían significativamente la generación de la peroxidación lipídica, con efecto marcado en el tratamiento de la aterosclerosis (Akçay *et al.*, 2004; Natella *et al.*, 2001; Yildirim *et al.*, 2004).

Otras frutas utilizadas para la elaboración de vinos son los frutos rojos. Un ejemplo de ello es el vino de arándano, caracterizado por altos contenidos en fenoles totales, antocianinas y flavonoides que están presentes tanto en el fruto como en los productos derivados. En este caso por su importancia se puede citar el vino elaborado con variedades “highbush” del sur de los Estados Unidos. Este vino muestra cantidades de compuestos fenólicos y actividad antioxidante significativamente mayor en comparación con otros productos bioactivos del vino (Saucier & Waterhouse, 1999). Los resultados muestran que los vinos de arándanos podrían presentar mejores propiedades y efectos beneficiosos para la salud que la mayoría de los vinos tintos, blancos y rosados (Sánchez-Moreno *et al.*, 2003).

Por otro lado, si consideramos la importancia de su producción y comercialización, se puede citar dentro de los frutos rojos al vino de cereza (Sun *et al.*, 2011 a, 2011b; Yoo *et al.*, 2010). Este vino se caracteriza por la alta presencia de compuestos fenólicos del tipo de ácidos clorogénicos y neoclorogénicos, y antocianinas como cianidin-3-glucosilrutinosido y cianidin-3-rutinósido (Sun *et al.*, 2011b). Otros investigadores demostraron que según la variedad de cereza (dulce o ácida) existe gran diferencia entre los compuestos fenólicos detectadas, cuyos perfiles y concentraciones de antocianinas cambian total y/o parcialmente durante el procesado de la materia prima, fermentación y envejecimiento (Chaovanalikit & Wrolstad, 2004).

Uno de los vinos de frutas con alta demanda y consumo es el vino de papaya. Este vino además de sus agradables propiedades organolépticas presenta elevadas concentraciones de compuestos bioactivos. Estudios realizados por Yue *et al.* (2018) identificaron la presencia de diversos polifenoles en 3 tipos diferentes de papaya. Además, demostraron que el contenido total de estos compuestos aumentó significativamente después de la fermentación durante 4 meses; encontrando valores entre 903 y 1178 mg/100 mL. Los principales polifenoles entre los tres tipos de vino de papaya fueron las catequinas, el ácido protocatéquico y el ácido clorogénico.

No solo los vinos elaborados de frutas muestran elevadas concentraciones de compuestos bioactivos y son bien aceptados por los consumidores. Ejemplo de ello son los vinos elaborados a partir de cereales, destacando entre ellos el vino de arroz. Los compuestos fenólicos presentes en este tipo de vinos están asociados con una variedad de propiedades bioquímicas y farmacológicas que incluyen actividades antioxidantes, antivirales, anticancerígenas y antiinflamatorias (Xu *et al.*, 2015) que se relacionan con la presencia de polifenoles. Se ha demostrado que estos compuestos derivaban principalmente de sus materiales vegetales y que estos podrían dar como resultado una calidad de vino drásticamente diferente al aumentarse la concentración de estos compuestos bioactivos en los vinos (Cai *et al.*, 2019).

6. COMPUESTOS DEL AROMA

El aroma o perfil aromático del vino es una de las características más importantes que determinan su calidad y por tanto su aceptación por el consumidor. La fracción aromática es de una gran complejidad debido a que depende, en gran medida, de la materia prima que se emplee para su elaboración, de los procesos de vinificación utilizados y al elevado número de compuestos volátiles que contiene (Hernanz *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2020; Moyano *et al.*, 2002; Pereira-Kechinski *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011). Estos metabolitos aromáticos volátiles (MAVs) están presentes en el vino en un amplio rango de concentraciones que van desde $\mu\text{g/L}$ hasta mg/L .

El estudio de éstos MAVs ha ido avanzando con el desarrollo de las técnicas cromatográficas. En este sentido, en los últimos años, las más utilizadas son la resonancia magnética nuclear (RMN) y la cromatografía de gases o líquidos (CG o CL) junto con la espectrometría de masas (EM) (Alañón *et al.*, 2015; Arbulu *et al.*, 2013; López-Rituerto *et al.*, 2012; Mazzei *et al.*, 2013; Moyano *et al.*, 2019; Schmidtke *et al.*, 2013). La GC-MS es la técnica cromatográfica mayoritariamente empleada debido a su alto poder de separación y reproducibilidad, aunque requiere un proceso previo de extracción y/o concentración para aislar los metabolitos volátiles. Posiblemente, este punto del análisis es el más crítico ya que depende de muchas variables (Alañón *et al.*, 2015; Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009). Los métodos de extracción empleados para aislar el mayor número de estos MAVs son muy variados, destacando la extracción en fase sólida, la extracción con adsorbente en barra agitadora y la extracción dinámica en el espacio de cabeza, entre otros. De todas ellas, esta última es la más rápida, es poco contaminante ya que no se emplean disolventes y, además proporciona resultados óptimos (Marquez *et al.*, 2014; Manzini *et al.*, 2011). Como consecuencia de este avance se han identificado más de 800 MAVs pertenecientes a diferentes familias químicas (terpenos, ésteres, ácidos, alcoholes superiores, lactonas, fenoles volátiles, metoxipirazinas, aldehídos, etc.), presentes en un amplio rango de concentraciones y que aportan distintos aromas al vino como florales, afrutados, especiados, vegetales, empireumáticos, etc. Además, recientemente, debido a este elevado número de MAVs se ha implementado el término “wineomics” para hacer referencia a dichos metabolitos (Alañón *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2020; Marquez *et al.*, 2014; Moyano *et al.*, 2009, 2019; Zea *et al.*, 2007, 2008, 2010). En definitiva, definir el perfil aromático de un vino conlleva necesariamente la identificación y cuantificación de estos metabolitos.

Actualmente existen diferentes formas de clasificar los compuestos volátiles del aroma, la forma tradicional tiene su origen en los estudios del aroma de vinos elaborados con uva como materia prima y los clasifica según su origen en: aromas primarios o varietales, aromas secundarios o prefermentativos/fermentativos y aromas terciarios o de crianza (Bakker & Clarke, 2011; Styger *et al.*, 2011). Por otro lado, autores como Belitz *et al.* (2009) y Ferreira (2007, 2010) señalan que los compuestos aromáticos pueden ser clasificados atendiendo al impacto sensorial más o menos relevante que pueden jugar en el vino. Atendiendo a este criterio, se distinguen las siguientes categorías: compuestos impacto o altamente activos, familias de compuestos impacto, compuestos o familias de papel sutil o secundario, compuestos formando la base del aroma y “off-flavours”. Además, según el concepto de serie aromática propuesto por diversos autores (Ruiz *et al.*, 2010, 2014) el perfil aromático de los vinos presenta

variados matices aromáticos los cuales se pueden agrupar en frutal, floral, vegetal, balsámica, especiada, empireumática, grasa y química. Por último y dado que los compuestos que integran el aroma del vino pertenecen a familias químicas diferentes (alcoholes, ésteres, ácidos, fenoles volátiles, etc.) también puede ser clasificados según este criterio. Sin embargo, la clasificación según el origen de estos metabolitos sigue siendo una de las más aceptadas, por lo que será la que se considere en esta introducción.

6.1. EL AROMA VARIETAL O PRIMARIO

El aroma varietal es el que resulta del metabolismo de la uva y está influenciado por factores tan diversos como la variedad, las condiciones edafoclimáticas y las prácticas y tratamientos que se le apliquen al cultivo de la vid (Ferreira & López, 2019; Fragasso *et al.*, 2012; González-Rodríguez *et al.*, 2011). Aunque pueda parecer que la composición general de la mayoría de las variedades de uva es muy similar, existen claras y notables diferencias entre la mayoría de los cultivares respecto a su perfil aromático. Son varios los autores (Moyano *et al.*, 2010; Polaskova, *et al.*, 2008; Ruiz *et al.*, 2010) que han intentado determinar cuáles son los compuestos clave del aroma (“key compound”) que distingue unos cultivares de otros. Generalmente, la mayor parte de estos aromas se hallan en la piel de las frutas y en las partes cercanas, existiendo en menor medida en la pulpa.

En definitiva, el “pull” de compuestos responsables del aroma varietal es variado y complejo, pudiéndose distinguir dos fracciones, la fracción libre (moléculas volátiles y odorantes) y la fracción ligada (no volátiles e inodoras). Dada su mayor importancia en el perfil aromático de los vinos, únicamente se expondrán las principales características de la fracción libre.

Entre las sustancias volátiles relacionadas con la tipicidad aromática de la cepa, destacan los compuestos terpénicos y las pirazinas, entre otros.

6.1.1. COMPUESTOS TERPÉNICOS

Los compuestos terpénicos son una familia extremadamente numerosa y variada de compuestos naturales con más de 40.000 identificados en la actualidad. En las plantas, múltiples procesos como la fotosíntesis, la construcción de membranas y la regulación del crecimiento utilizan terpenoides (Dunlevy *et al.*, 2009). De todos ellos, los terpenos volátiles son los componentes claves del aroma de las plantas, flores, frutas, etc. Su estructura básica consta de una cadena lineal de 5 átomos de carbono como el isopreno (C_5H_8): $CH_2=CCH_3CH=CH_2$, aunque también existen terpenos con una estructura cíclica, denominados terpenos monocíclicos. Algunos de estos metabolitos persisten durante la vinificación, sin embargo, se suelen designar como aromas esencialmente primarios o varietales. En este sentido (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000) identifica 44 terpenos en uvas, pero sólo 6 de ellos participan en el aroma de los vinos. La mayoría de los compuestos terpénicos identificados son monoterpenos (2 unidades de isopreno), sesquiterpenos (3 unidades de isopreno) y sus alcoholes y aldehídos correspondientes (Bayonove, 2003). En la Figura 1.28 se muestran las estructuras químicas de algunos de ellos.

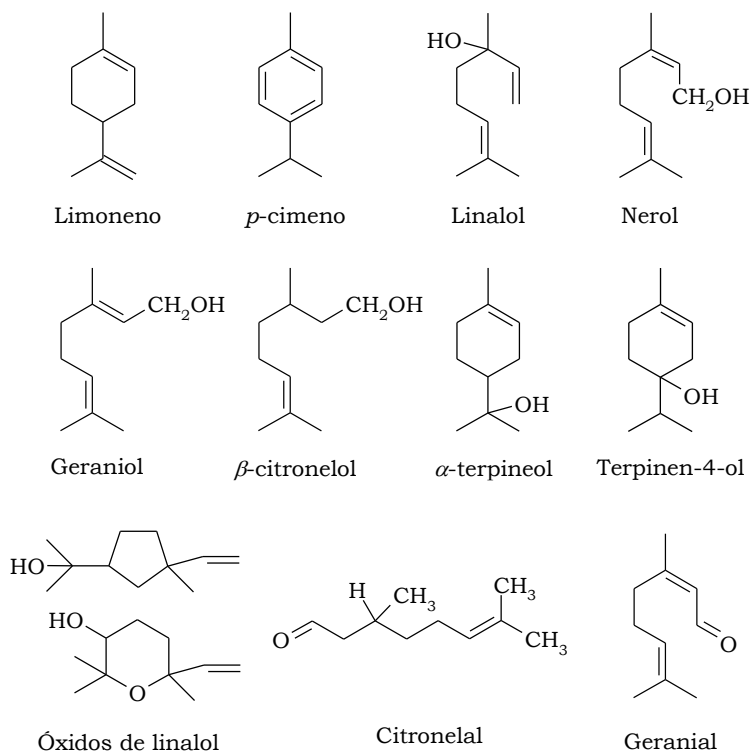


Figura 1.28. Estructura química de los principales terpenos.

En las uvas los terpenos se concentran mayoritariamente en la piel (hollejo) y en la pulpa, aunque existen distribuciones diferentes según el terpeno del que se trate. Así, el geraniol y el nerol son mucho más abundantes en la piel, mientras que el linalol se distribuye generalmente por toda la fruta (Gunata *et al.*, 1985). En esta línea diferentes estudios han demostrado que los procesos de maceración pelicular aumentan la concentración de monoterpenos (Selli *et al.*, 2006). Según Rapp (1998), las diferentes variedades de uva se pueden clasificar atendiendo al contenido total en monoterpenos libres en:

- Variedades muy aromáticas, tipo moscatel (alrededor de 6 mg/L).
- Variedades aromáticas (1-4 mg/L)
- Variedades neutras (<1 mg/L)

En cuanto a los contenidos de terpenos de forma individualizada, Ribéreau-Gayon *et al.* (2000) señalan al linalol y al α-terpineol como los principales contribuyentes de este grupo de compuestos.

Respecto de las características olfativas, descriptores aromáticos y umbrales de percepción, los terpenos presentan generalmente aromas florales (rosa, lila, azucena) y frutales (cítricos, limón principalmente) y sus umbrales varían entre un amplio rango de valores desde 0.05 a 65 mg/L. Los alcoholes monoterpénicos linalol, geraniol y nerol son los que presentan valores umbrales más bajos y por lo tanto los que, en principio, más participan en el perfil aromático de los vinos. Por el contrario, los óxidos de linalol

y nerol tienen umbrales mucho más elevados por lo que su contribución al aroma suele ser menos importante (Gunata *et al.*, 1985).

6.1.2. LAS PIRAZINAS

Las principales pirazinas identificadas en mostos y vinos son la 2-metoxi-3-isobutilpirazina, 2-metoxi-3-isopropilpirazina, 2-metoxi-3-sec-butilpirazina y 2-metoxi-3-etilpirazina. Estas pirazinas que fueron identificadas por primera vez en uvas y vinos elaborados con la variedad Cabernet Sauvignon, presentan concentraciones muy bajas, inferiores a 50 ng/L. Sin embargo, Ribéreau-Gayon *et al.* (2000) consideran que estas concentraciones están significativamente por encima de sus umbrales de percepción, por lo que participan del perfil aromático de mostos y vinos. Los contenidos en pirazinas dependen de varios factores como el estado de madurez de la uva, clima, incidencia de luz al racimo y prácticas de poda. Por último, en cuanto a las características aromáticas generales de estos compuestos, se caracterizan por tener olores vegetales que recuerda al pimiento verde, guisante y nuez verde, entre otros.

6.2. EL AROMA PREFERMENTATIVO

Estos metabolitos aparecen en el mosto durante las etapas que van desde la vendimia hasta el comienzo de la fermentación alcohólica. Es decir, durante el transporte, despalillado, estrujado, prensado, maceración pelicular, etc. Durante estos procesos previos a la fermentación existe una ruptura de la pared celular de tal forma que, enzimas y sustratos que se encuentran en compartimentos celulares diferentes, entran en contacto. Además, se pasa de un ambiente anaerobio, dentro de la uva, a aerobio produciéndose reacciones de pardeamiento enzimático.

Mayoritariamente se originan aldehídos y alcoholes de 6 átomos de carbono. Los principales aldehídos presentes en mostos son el hexanal y el *E*-2-hexenal y el *Z*-3-hexenal, los cuales tienen su origen en la oxidación enzimática de los ácidos linoleico y linolénico durante los procesos de estrujado y prensado (Drawert, 1975). Los alcoholes mayoritarios son *E*-2-hexenol, *Z*-3-hexenol, *Z*-2-hexenol, *E*-3-hexenol y 1-hexanol (Ramey *et al.*, 1986). También se han identificado algunos ácidos orgánicos, saturados e insaturados, de 6 a 9 átomos de carbono (Bucolo, 2020). La mayoría de estos metabolitos volátiles comunican al vino aromas vegetales o herbáceos relacionados con descriptores aromáticos como césped, hierba, heno cortado y hojas verdes (Bakker & Clarke, 2011; Oliveira *et al.*, 2006).

Los principales factores que influyen en la concentración de estos metabolitos son el empleo o no de algunas técnicas prefermentativas como el estrujado, despalillado, la maceración pelicular, además de otros factores como los niveles de presión empleados durante el prensado de la uva, el contenido en oxígeno y la variedad y estado de madurez de la uva. En este sentido, cabe señalar que la presencia de estos compuestos en los vinos disminuye a medida que la uva madura (Ferreira *et al.*, 1995).

6.3. EL AROMA FERMENTATIVO

Esta fracción del aroma se ha denominada tradicionalmente aroma secundario y es el aroma generado principalmente durante las fermentaciones alcohólica y maloláctica. Durante estas dos transformaciones biológicas se producen cualitativa y cuantitativamente la mayor cantidad de MAVs; los cuales pertenecen a diferentes familias químicas como ésteres, cetonas, ácidos, alcoholes superiores, etc. (Cedron, 2004; Frivik & Ebeler, 2003; Gerbaux *et al.*, 2002).

La fermentación alcohólica, desde el punto de vista sensorial, es una etapa muy importante ya que define gran parte del perfil o huella aromáticos de un determinado vino. Por el contrario, la fermentación maloláctica sólo modifica el aroma del vino de una manera sutil. Autores como Boido *et al.* (2003) y Mallouchos *et al.* (2003) indican que los aromas fermentativos proporcionan en conjunto la denominada nota vinosa característica de los vinos, la cual incluye descriptores aromáticos como frutal, dulce, picante y alcohólico. Es lo que se denomina un “buffer o tampón aromático” (Ferreira, 2007). Sin embargo, es conocido que en el aroma del vino participan otros metabolitos volátiles que son capaces de aportar otro tipo de notas aromáticas que rompen el buffer aromático otorgando a cada vino en particular un perfil aromático característico (Figura 1.29).

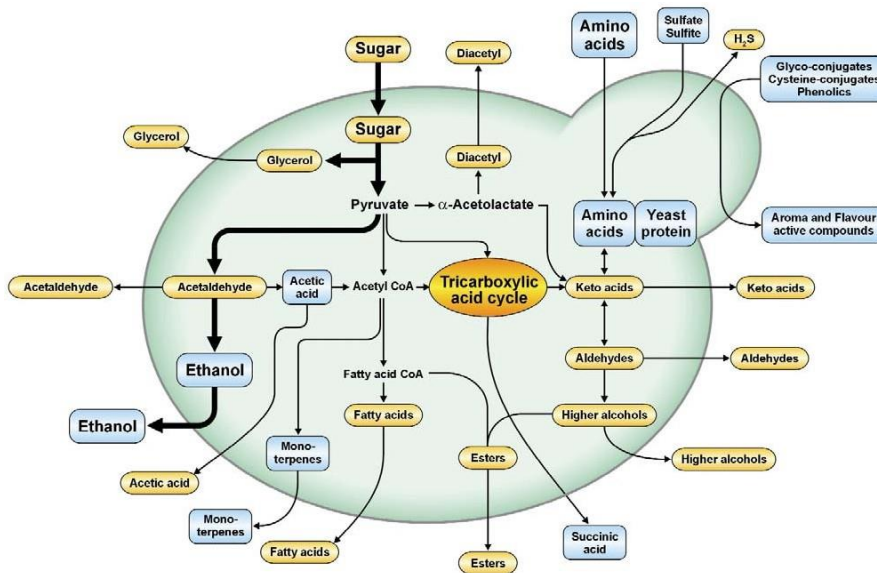


Figura 1.29. Representación esquemática de la síntesis de metabolitos durante la fermentación alcohólica (Swiegers *et al.*, 2005).

A continuación, se hará una descripción de los metabolitos que se incluyen en esta fracción del aroma clasificados en familias químicas ya que generalmente presentan una biogénesis común.

6.3.1. ALCOHOLES SUPERIORES

Este grupo de metabolitos incluye a aquellos alcoholes con más de dos átomos y según (Ribéreau-Gayon, 1982) alcanzan concentraciones en el vino comprendidas entre 150 y 550 mg/L. Estos compuestos se forman durante la fermentación alcohólica por dos vías:

- 1) Vía catabólica de los aminoácidos, por descarboxilación y posterior reducción de los α -cetoácidos obtenidos por transaminación.
- 2) Vía anabólica de los aminoácidos, a partir de los α -cetoácidos obtenidos de los azúcares.

Dadas las dos vías, es lógico indicar que la presencia y concentración de estos compuestos en el vino esté altamente influenciada por la disponibilidad de fuentes nitrogenadas en los mostos. Sin embargo, autores como Rankine (1968) y Giudici *et al.* (1990) indican que el tipo de cepa de levadura empleado también contribuye y, de forma considerable, en las concentraciones de alcoholes superiores. Además, la concentración de etanol, la temperatura de fermentación, el pH y la composición del mosto de uva, la aireación, el nivel de sólidos, la variedad de uva, la madurez y el tiempo de contacto con el hollejo también afectan a la concentración de alcoholes superiores en el producto final (Fleet & Heard, 1993). Esta familia de compuestos (también conocidos como alcoholes fusel) pueden aportar a los vinos notas aromáticas tanto positivas (florales y afrutadas) como negativas (solventes) (Hernandez-Orte *et al.*, 2002; Waterhouse *et al.*, 2016). De forma general, concentraciones por debajo de 300 mg/L aportan un nivel de complejidad deseable al vino, mientras que concentraciones que exceden los 400 mg/L pueden tener un efecto perjudicial (Rapp & Versini, 1991).

Los alcoholes superiores se pueden clasificar en diferentes categorías según su estructura química o a la concentración a la que se presentan en el vino. Atendiendo a la primera de ellas y según Nykänen *et al.* (1977) se distinguen los alcoholes alifáticos (propanol, alcoholes isoamílicos, isobutanol y 2-metil-1-butanol, principalmente) y los alcoholes aromáticos (2-feniletanol y tirosol). Atendiendo a la segunda clasificación destacan los alcoholes superiores mayoritarios, que se encuentran en el vino a concentraciones superiores a los 10 mg/L; de ellos destacan los alcoholes isoamílicos (2-metil-1-butanol y 3-metil-1-butanol), isobutanol, 1-propanol, y 2-feniletanol. Por otro lado, se encuentran los alcoholes minoritarios, presentes a concentraciones inferiores a la citada anteriormente y que incluye al alcohol bencílico, 1-pentanol, 1- y 2-butanol; 3- y 4-metil-1-pentanol y alcohol furfúrico, entre otros.

6.3.2. ÉSTERES

Los ésteres en el vino se producen principalmente por el metabolismo de las levaduras (a través del metabolismo de los lípidos y la acetil-CoA), aunque en determinados casos pueden originarse durante la crianza y formar parte del aroma terciario. Además, algunos de ellos pueden estar presentes previamente en las uvas y son parcialmente extraídos al mosto durante el proceso de prensado (Maarse & Vischer, 1989). Este grupo de metabolitos representa un porcentaje alto del perfil aromático de los vinos y según (Vernin *et al.*, 1993) en determinados vinos tintos puede llegar a representar entre un 35-38%. Además, son numerosos los ésteres volátiles identificados en vino,

alrededor de 110, siendo los más significativos el acetato de etilo, el acetato de isoamilo, el acetato de isobutilo, el hexanoato de etilo y el acetato de 2-feniletanol, que aportan aromas afrutados al perfil aromático del vino a excepción del acetato de etilo el cual presenta una correlación negativa con la calidad de los vinos (Bertuccioli *et al.*, 1984; Marais & Pool, 1980; Thurston *et al.*, 1981). Además, a muy bajas concentraciones se han identificado ésteres derivados de la combinación de hidroxiacidos, cetoácidos de ácidos grasos y de ácidos aromáticos con alcoholes superiores e, incluso, ésteres de ácidos terpénicos o antranílicos (Maarse & Vischer, 1989).

El tipo de levadura utilizada en la fermentación es considerado uno de los factores más importante y el responsable de las variaciones en los contenidos de ésteres totales. En consecuencia, la elección o supremacía espontánea de ciertas cepas de levadura durante la fermentación puede alterar el equilibrio particular de los componentes que caracterizan y distinguen los vinos pertenecientes a una misma zona. Hoy en día se utilizan diferentes levaduras *Saccharomyces* comerciales para la fermentación alcohólica del mosto lo que conlleva una producción variable de ésteres y por lo tanto vinos con perfiles aromáticos diferentes (Marais *et al.*, 2001). Además, se ha comprobado que las fermentaciones de cultivos mixtos de levaduras silvestres, como *Hanseniaspora guilliermondii* y *Pichia anomala*, junto con *Saccharomyces cerevisiae*, muestran un aumento de las concentraciones de ésteres (Rojas *et al.*, 2003).

Otros factores que afectan al contenido en ésteres son la temperatura de fermentación, la presencia de oxígeno, la clarificación del mosto y el contenido en dióxido de azufre. Respecto del primero, (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000) señala que temperaturas bajas favorecen la formación de ésteres frutales. Con respecto a la acción del oxígeno, fermentando en condiciones anaeróbicas, la producción de estos metabolitos volátiles parece ser mayor que en aerobiosis. Sin embargo, Mauricio *et al.* (1997) obtienen la mayor formación de ésteres volátiles por *S. cerevisiae* en condiciones de semiaerobiosis, principalmente durante el crecimiento celular. En cuanto a la clarificación de los mostos, se ha demostrado que el desfangado de los mostos destinados a la vinificación en blanco favorece la producción de ésteres de ácidos grasos. Por último, para favorecer la síntesis y retención de estos metabolitos los niveles de dióxido de azufre empleados deben ser bajos.

6.3.3. ÁCIDOS VOLÁTILES

Son pocos los ácidos volátiles presentes en el vino, durante la fermentación alcohólica se producen pequeñas cantidades de ácido acético y variables de otros ácidos volátiles como propanoico, butanoico, hexanoico, octanoico y decanoico. Estos ácidos, proceden de la hidrólisis del acil S-coenzima A, cuya biogénesis depende en gran medida del metabolismo lipídico que regula la biosíntesis de la membrana plasmática de la levadura, y en menor grado de su metabolismo nitrogenado (Nykänen, 1986). Además, el origen de estas moléculas está también ligado a las condiciones de fermentación, al tipo de inóculo, a la temperatura del proceso de fermentativo, al origen del mosto y a los procesos de maceración pelicular se realizan en determinados vinos (Herraiz *et al.*, 1991).

El aporte de estos metabolitos al perfil aromático de los vinos depende de la concentración a la que se encuentren en los vinos. Si las concentraciones se sitúan entre valores de entre 4 a 10 mg/L se ha demostrado que mantienen el equilibrio del aroma fermentativo. Por el contrario, a concentraciones superiores a 20 mg/L los aromas que se aprecian son desagradables, a rancio, sudor o agrio, entre otros (Etiévant, 1991).

6.3.4. ALDEHÍDOS

El número de aldehídos identificados en vinos oscila entre 18 a 25 aunque, con excepción del acetaldehído, sólo están presentes en concentraciones pequeñas (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000). El acetaldehído suele estar en concentraciones que varían de 10 mg/L a 75 mg/L (Schreier & Jennings, 1979), aunque otros autores (Zea *et al.*, 2015) indican que sus contenidos pueden oscilar entre 6 y 200 mg/L dependiendo de la cepa de levadura. Además, otros factores que influyen en gran medida en esta variabilidad de contenidos son la temperatura de fermentación, la composición del medio y la naturaleza del material insoluble utilizado para clarificar el mosto (Delfini & Costa, 1993; Romano *et al.*, 1994). Además, se ha comprobado que el uso de altas concentraciones de dióxido de azufre en el mosto puede dar lugar a una acumulación de acetaldehído por la levadura. Durante la fermentación del mosto, el acetaldehído se produce a partir del metabolismo de los azúcares por la levadura mediante la acción de la piruvato descarboxilasa y la alcohol deshidrogenasa (Figura 1.30) (Zea *et al.*, 2015).

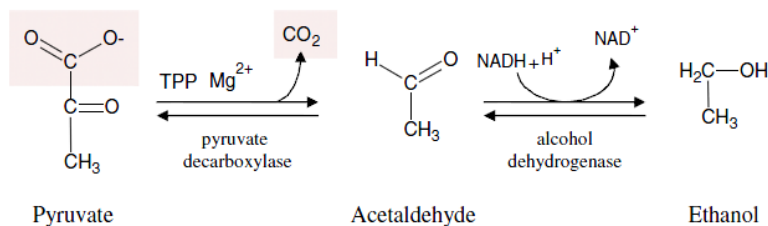


Figura 1.30. Formación del acetaldehído (Zea *et al.*, 2015).

En cuanto al aporte aromático del acetaldehído al vino, contribuye con notas aromáticas de manzana madura y nuez. En los vinos blancos la presencia de este metabolito es un indicio de oxidación lo que produce un aroma y sabor ligeramente almendrado que se asemeja al del vino dulce fortificado de Madeira. En los vinos tintos puede contribuir a la complejidad del aroma siempre que la concentración no supere los 100 mg/L ya que un exceso de este metabolito da lugar a los denominados vinos “planos” (Swiegers *et al.*, 2005).

6.3.5. CETONAS

Aunque se han identificado hasta 20 cetonas diferentes en los vinos, sólo algunas de ellas influyen en el perfil aromático. Según Bakker & Clarke (2011), destacan dentro de este grupo de compuestos el diacetilo (2,3-butanodiona), la acetoina (3-hidroxi-2-butanona), la 3-hidroxi-2-pentanona y la pentano-2,3-diona (Maarse & Vischer, 1989).

El diacetilo es una de las primeras moléculas aromáticas que se identificó en el vino (Fornachon, 1965). En cuanto a su origen, la mayor parte se origina durante la fermentación maloláctica aunque algunas levaduras pueden sintetizar pequeñas cantidades de este metabolito que oscilan entre 0.2-0.3 mg/L (Bartowsky *et al.*, 2004). Además, se ha demostrado que su concentración está relacionada con los niveles de dióxido de azufre en el vino (Nielsen & Richelieu, 1999). El diacetilo presenta un papel complejo en el perfil aromático del vino, varios autores coinciden en el carácter ambiguo desde el punto de vista sensorial de este metabolito. Sponholz (1993) indica que, a concentraciones bajas aporta aromas a nuez, tostado, mantequilla o caramelo. En esta línea Bartowsky *et al.*, (2002; 2004) señalan que el diacetilo es el responsable de la nota mantecosa apreciada en algunos vinos y Rogerson *et al.* (2001) sugieren que juega un papel importante en las notas dulces de algunos vinos de Oporto. Sin embargo, a concentraciones altas entre 1 y 7.5 mg/L aporta olores desagradables y es considerado un defecto del vino.

En cuanto a la acetoína, su producción está íntimamente relacionada con los contenidos de acetaldehído en el vino, de forma que las levaduras con medio y alto carácter de producción de acetaldehído conllevan a niveles de esta cetona relativamente altos (Vannini *et al.*, 1994). En cuanto a la formación de este metabolito por las levaduras, su síntesis se produce mediante tres vías: a partir del piruvato, por condensación de acetaldehído con acetyl-CoA para formar diacetilo que posteriormente se reducirá a acetoína y por condensación de dos moléculas de acetaldehído (Romano & Suzzi, 1996). Aunque la especie de levadura es el factor que más influye sobre el contenido de acetoína en el vino, otros factores como el tiempo y la temperatura de fermentación, así como la variedad de uva utilizada también pueden modificar los contenidos de este compuesto (Palacios *et al.*, 1995). En cuanto a su aporte sensorial, presenta aromas similares a los del diacetilo, graso, cremoso y mantecoso.

6.3.6. FENOLES VOLÁTILES

Los fenoles volátiles pueden estar presentes en el mosto de uva en pequeñas concentraciones, pero son producidos mayoritariamente por las levaduras durante la fermentación (Baumes *et al.*, 1988). En esta línea *Saccharomyces cerevisiae* descarboxila los ácidos hidroxicinámicos no flavonoides, como el ácido *p*-cumárico y el ácido ferúlico, en un proceso no oxidativo para formar los fenoles volátiles 4-vinilguayacol y 4-vinilfenol, respectivamente (Figura 1.31) (Chatonnet *et al.*, 1993). También es bien conocido que las especies de levadura *Brettanomyces/Dekkera* spp. presentan una alta capacidad para formar fenoles volátiles en el vino (Chatonnet, 1995; du Toit & Pretorius, 2000). Estas levaduras están asociadas con los etilfenoles (4-etilguayacol y 4-etilfenol) que aportan olores más desagradables y, por lo tanto, se consideran organismos de descomposición que producen aromas descritos como medicinales, farmacéuticos, y rancio, entre otros (Chatonnet, 1995; Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000).

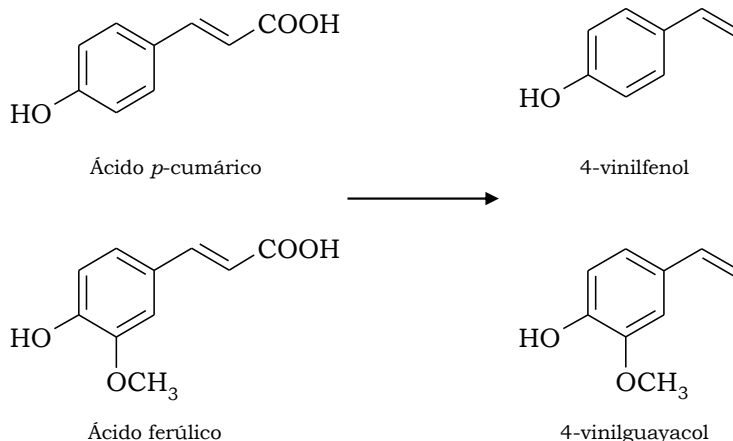


Figura 1.31. Origen de los vinil fenoles en el vino (Moreno-Arrivas, 2005)

6.3.7. LACTONAS

Las lactonas están ampliamente distribuidas en la naturaleza, concretamente en los frutos. Las denominadas γ - y δ -lactonas son las que se forman más fácilmente (Bakker & Clarke, 2011). La mayoría de las lactonas parecen producirse durante la fermentación, químicamente proceden de la pérdida de una molécula de agua de los hidroxiácidos, como la γ -butirolactona (dihidro-3(H)-furan-2-ona) que se forma por lactonización del ácido γ -hidroxibutanoico. Estudios realizados por Zea *et al.* (1995) con cultivos puros de levaduras a escala de laboratorio concluyeron que, las cantidades de γ -butirolactona y pantolactona presentes en el vino depende de la cepa de levadura empleada. Asimismo, ensayos paralelos con levaduras *S. cerevisiae* (capensis), muestran concentraciones superiores de lactonas en los vinos sometidos a aireaciones periódicas frente a los vinos sin aireación (Cortes *et al.*, 1998; Muñoz, 2003).

Por otro lado, la sotolona (4,5-dimethyl-3-hydroxy-2,5-dihydrofuran-2-one), aunque es más característica de los vinos elaborados con uvas botitizadas, también se puede originar por una condensación entre el ácido γ -cetobutírico y el etanol.

6.4. EL AROMA DE CRIANZA O TERCIARIO

Por último, el aroma terciario, denominado “bouquet” se desarrolla durante la etapa de conservación y crianza del vino, tanto en botella como en bodega de madera, generalmente de roble francés o americano. La composición del vino sufre transformaciones importantes debido a reacciones fisicoquímicas y biológicas. Los MAVs que definen este aroma proceden principalmente de reacciones de esterificación (entre ácidos y alcoholes) y de oxidación-reducción de compuestos aromáticos y fenólicos, que influyen en perfil aromático del vino. Es importante tener en cuenta que, durante la crianza del vino, las reacciones son lentas y diferentes. La crianza en depósitos, tinajas o en bodega de roble permite reacciones con oxígeno (crianza oxidativa) y reacciones de extracción en el caso de la bodega, mientras que la crianza en botella solo permite transformaciones anaeróbicas. Durante la crianza del vino el

aroma afrutado va desapareciendo progresivamente y evoluciona hacia un aroma más complejo. Este hecho se debe principalmente a la disminución del contenido en algunos ésteres como el acetato de etilo, succinato de dietilo, etc. y a que se extraen compuestos específicos de la madera, como aldehídos furánicos, lactonas, etilfenoles, etc. que presentan aromas con olor característico a madera, tostado y/o coco principalmente (Benítez *et al.*, 2003; Cedrón, 2004; Pérez-Coello *et al.*, 1999).

La madera ha sido utilizada tradicionalmente para la elaboración de las barricas donde se almacena el vino durante su crianza. Sin embargo, no son únicamente un mero recipiente ya que, durante esta etapa, el vino experimenta importantes cambios tanto en su estabilidad como en su perfil aromático (del Álamo & Nevares, 2006; Dubois, 1989). En este sentido, son numerosos los trabajos que han identificado los principales compuestos extraíbles de la madera, destacando algunos metabolitos volátiles como los derivados furánicos, aldehídos fenólicos, fenoles volátiles, lactonas, heterociclos volátiles, etc., y compuestos no volátiles como ácidos fenólicos, flavanoles, taninos elágicos, etc. Estos últimos participan en la sensación astringente, en el amargor y en la estabilización del color de los vinos (Ruiz, 2011).

Sin embargo, este tipo de crianza tradicional es lento y costoso, por lo que en los últimos años las investigaciones han estado enfocadas a buscar técnicas alternativas para acelerar y reducir su coste de producción (Bozalongo *et al.*, 2007; Guchu *et al.*, 2006). En este sentido, la adición de fragmentos de madera (polvo, “oak chips” o virutas, listones, etc.) parece ser potencialmente una buena técnica alternativa a la crianza en barrica. Generalmente las maderas utilizadas con este fin han sido de roble americano o francés, pero dado que las necesidades de madera de roble se han incrementado espectacularmente desde finales del siglo pasado y su disponibilidad está muy limitada, se han comenzado a implementar el uso de maderas de otras especies, que además podrían aportar particulares características organolépticas. El origen de la madera que se emplea con fines enológicos está estrechamente relacionado con la especie cultivada en cada zona y, por tanto, con sus propiedades físicas y con su composición química (Martínez *et al.*, 2007). En Europa destacan para su uso enológico la madera de roble americano y francés y como alternativa a estos se emplean también la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia* L.), el castaño (*Castanea sativa* Mill.), el cerezo (*Prunus avium* L.), el fresno europeo (*Fraxinus excelsior* L.) y el fresno blanco o fresno americano (*F. americana* L.). Sin embargo, en algunos países de Sudamérica y en Cuba se ha generalizado el empleo de fragmentos de madera procedentes de especies arbóreas como el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y el eucalipto (*Corymbia citriodora*).

En cuanto a la composición volátil de las maderas de uso enológico secas y tostadas, diferentes autores (Chaves, 2012; Gómez-Plaza *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2007; Ruiz, 2011) señalan a los isómeros *cis* y *trans* de la β -metil- γ -octalactona como los compuestos más destacables del perfil aromático de la madera de roble. Junto a estos compuestos destacan por presentar concentraciones elevadas algunos fenoles volátiles como eugenol, 4-etilguayacol e isoeugenol, aldehídos volátiles como la acetovanillina, y el furfural (Fernández *et al.*, 2003; Lasanta, 2002). Por otro lado, Sanz (2011) identifica mediante CG-EM 110 compuestos volátiles en maderas distintas del roble, entre los que destacan como compuestos clave el 3,4-dimetoxifenol, 2,4-dihidroxibenzaldehído, *p*-anisaldehído, bencilsalicilato y tirosol.

En cuanto a las características del mangle rojo Regalado *et al.* (2016) indica que presenta una composición química variada y compleja, caracterizada por la presencia de polifenoles de bajo peso molecular, taninos condensados, fitoesteroles, ácidos grasos de cadena larga saturados e insaturados, compuestos volátiles y aceites esenciales no volátiles, entre otros. Por último, Cadahía (1995) pone de manifiesto que la corteza de eucalipto contiene una gran variedad de polifenoles poliméricos de pesos moleculares dentro de un amplísimo intervalo, dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales.

6.5. COMPUESTOS VOLÁTILES EN VINOS DE FRUTAS Y ARROZ

Los compuestos volátiles juegan un papel clave en la determinación de la calidad sensorial de los vinos, y ciertamente también influyen en las preferencias de los consumidores. El perfil aromático del vino está controlado por varios factores, como la materia prima utilizada (tipo de fruta, variedad de arroz, etc.), el cultivo, el clima, las cepas de levadura y el procedimientos de vinificación (Styger *et al.*, 2011). De hecho, algunos compuestos volátiles específicos podrían estar involucrado en las características distintivas de los diferentes vinos. Los principales contribuyentes al perfil aromático de los vinos de frutas son ésteres, alcoholes superiores, acetatos y ácidos orgánicos. Otros metabolitos volátiles que también participan en el perfil aromático de los vinos de frutas aunque presentes en concentraciones más bajas son los aldehídos, cetonas, lactonas, terpenos y fenoles (Velić *et al.*, 2018).

Además, existen numerosos estudios que intentan modular el perfil aromático de los vinos de frutas para una mejor aceptación por el consumidor. En esta línea, Lee *et al.* (2011a, 2011b) obtiene un aumento considerable de algunos metabolitos volátiles principalmente alcoholes como el alcohol isoamílico y 2-fenil etanol, y ésteres como el acetato de isoamilo, acetato de 2-fenil etanol y butanoato de isoamilo, entre otros. En otro estudio, Lee *et al.* (2012) investigaron los efectos de la inoculación secuencial de diferentes levaduras *Saccharomyces* y no-*Saccharomyces* en los perfiles aromáticos del vino de papaya. El estudio mostró que la inoculación secuencial es una herramienta óptima para modular el perfil aromático de estos vinos de frutas.

El perfil aromático del vino de arroz depende principalmente de las materias primas, las cepas de levadura, las condiciones de elaboración y las condiciones de maduración o crianza. Por todo ello, autores como Chen & Xu (2010) indican que es posible distinguir los vinos de arroz chinos de diferentes regiones por sus características sensoriales. Xiao *et al.* (2015) estudian los perfiles aromáticos de 27 vinos de arroz chino procedentes de diferentes orígenes geográficos y de diferentes edades, identificando un total de 63 compuestos volátiles, incluidos ésteres, alcoholes, aldehídos, ácidos, cetonas y fenoles volátiles. Entre los metabolitos identificados, los ésteres, aldehídos, alcoholes y ácidos fueron los grupos principales, siendo el formiato de isoamilo, el acetato de etilo y el 2-feniletanol, los que presentaron las concentraciones más altas.

Respecto a la influencia del tiempo de crianza de los vinos de arroz en el perfil aromático, Xiao *et al.* (2015) observan un aumento generalizado de los niveles de algunos ésteres como acetato de etilo, acetato de isobutilo, formiato de isoamilo, lactato

de etilo, acetato de 2-feniletanol y γ -decalactona. Además, también destacan el aumento del contenido total de aldehídos y ácidos volátiles a medida que aumentaba la edad del vino.

7. REFERENCIAS

- AESAN (2011). Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Evaluación nutricional de la dieta española II. Micronutrientes. Ed. *Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad y Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición*, Madrid (España).
- Agostini-Costa, T., Wondracek, D., Rocha, W., & Silva, D. (2012). Perfil de carotenoides e fenólicos totais em frutos de pereskia aculeata miller. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *34*, 234–238. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100031>
- Agudo, A. (2005). Measuring intake of fruit and vegetables. In: *Joint FAO/WHO Workshop on Fruit and Vegetables for Health, 2004*. Ed. *World Health Organization (WHO)*, Kobe (Japan).
- Aherne, S., & O'Brien, N. (2002). Dietary flavonols: chemistry, food content and metabolism. *Nutrition*, *18*, 75–81.
- Ahlström, H. (2017). Nutrición. En: *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Campbell-Platt, G. (ed.), Ed. *Acribia S.A.*, Zaragoza (España).
- Akçay, Y., Yildirim, H., Guvenc, U., & Sozmen, E. (2004). The effects of consumption of organic and non organic red wine on low density lipoprotein oxidation and antioxidant capacity in human. *Nutrition Research*, *24*, 541–554.
- Akihisa, T., Tokuda, H., Ukiya, M., Kiyota, A., Yasukawa, K., Sakamoto, N., Kimura, Y., Suzuki, T., Takayasu, J., & Nishino, H. (2005). Anti-tumor-initiating effects of Monascin, an azaphilone pigment from the extract of *Monascus pilosus* fermented rice (red-mold rice). *Chemical Biodiversity Journal*, *2*, 1305–1309.
- Akubor, P. I., Obio, S. O., Nwodomere, K. A., & Obiomah, E. (2003). Production and quality evaluation of banana wine. *Plant Food for Human Nutrition*, *58*, 1–6.
- Alañón, M. E., Pérez-Coello, M. S., & Marina, M. L. (2015). Wine science in the metabolomics era. *Trends of Analytical Chemistry*, *74*, 1–20.
- Alonso, M., Cueto, J. R., Mullen, L., & Sourt, D. (2005). Colecta de germoplasma de papaya (*Carica papaya* Linn) en la región oriental de Cuba. En: *Memorias Fitogen*. Ed. *SciELO-Scientific Electronic Library Online*, La Habana (Cuba).
- Alonso, M., Tornet, Y., Ramos, R., Farrés, E., Castro, J., Rodríguez, M., & Rodríguez-Pastor, M. (2008). Evaluación de tres cultivares de papaya del grupo solo basada en caracteres de crecimiento y productividad. *Cultivos Tropicales*, *29*, 59–64. <https://doi.org/10.1234/ct.v29i2.257>
- Alves, J., de Oliveira, L. C., Nunes, C. A., Dias, D., & Schwan, R. (2011). Chemical, physical-chemical, and sensory characteristics of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn)

- wines. *Journal of Food Science*, 76, 330–336. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02188.x>
- Alves, J. A., Lima, L., Días, D., Nunes, C., & Schwan, F. (2010). Effects of spontaneous and inoculated fermentation on the volatile profile of lychee (*Litchi chinensis* Sonn) fermented beverages. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2358–2365.
- Anderson, J. W. (2003). Whole grains protect against atherosclerotic cardiovascular disease. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 135–142.
- Andreu-Sevilla, A. J., Mena, P., Martí, N., Viguera, C. G., & Carbonell-Barrachina, A. (2013). Volatile composition and descriptive sensory analysis of pomegranate juice and wine. *Food Research International*, 54, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.007>
- Antón, M. J. (2015). Influencia del origen y la tecnología de elaboración sobre el perfil aromático y olfatométrico de la sidra. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo*, Oviedo (España). <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/33764>
- Aranda, P., Planells, E., & Llopis, J. (2000). Magnesio. *Ars Pharmaceutica Journal*, 41, 91–100.
- Arbulu, M., Sampetro, M. C., Sanchez-Ortega, A., Gómez-Caballero, A., Unceta, N., Goicolea, M. A., & Barrio, R. J. (2013). Characterization of the flavour profile from Graciano vitis vinífera wine variety by a novel dual stir bar sorptive extraction methodology coupled to thermal desorption and gas chromatography-mass spectrometry. *Analytica Chemical Acta*, 77, 41–48.
- Arthur, J. R., & Beckett, G. J. (1994). Neometabolic roles for selenium. *Proceedings of the Nutrition Society*, 53, 615–624.
- Ayala, J., Vega, V., Rosas, C., Palafox, H., Villa, J., Wasim, M., Dávila, J., & González, D. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44, 1866–1874.
- Ayogu, T. E. (2016). Evaluation of the performance of yeast isolate from Nigeria palm wine in wine production from pineapple fruits. *Bioresource Technology*, 69, 189–190.
- Badui, S. (2016). Química de los Alimentos. Quintanar, E. (ed.), Ed. *Pearson Educación*, México.
- Bagchi, D., Sen, C., Bagchi, M., & Atalay, M. (2004). Anti-angiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula. *Biochemistry Biokhimiia*, 69, 75–80.
- Bagetti, M., Facco, P., Piccolo, J., Hirsch, G., Rodriguez-Amaya, D., Kobori, C., Vizzotto, M., & Emanuelli, T. (2011). Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31, 147–154. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100021>

- Bailey, R., Fulgoni, V., Keast, D., & Dwyer, J. (2011). Dietary supplement use is associated with higher intakes of minerals from food sources. *American Journal of Clinical Nutrition*, *94*, 1376–1381. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.020289>.
- Bakker, J., & Clarke, R. J. (2011). *Wine Flavour Chemistry*. Ed. Wiley-Blackwell Ltd., Oxford (UK).
- Barak, V., Halperin, T., & Kalickman, I. (2001). The effect of Sambucol, a black elderberry-based, natural product, on the production of human cytokines: I. Inflammatory cytokines. *European Cytokine Network*, *12*, 290–296.
- Bartowsky, E., Costello, P., & Henschke, P. (2002). Management of malolactic fermentation–wine flavour manipulation. *The Australian Grapegrower and Winemaker*, *461*, 7–14.
- Bartowsky, E. J., Dillon, S. J., Henschke, P. A., Markides, A. J., Dumont, A., Pretorius, I. S., Ortiz-Julien, A., & Herderich, M. (2004). The potential of *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast to improve red wine colour. *The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*, *490*, 83–85.
- Baskaran, R., Pullencheri, D., & Somasundaram, R. (2016). Characterization of free, esterified and bound phenolics in custard apple (*Annona squamosa* L.) fruit pulp by UPLC-ESI-MS/MS. *Food Research International*, *82*, 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.001>
- Basu, A., Du, M., Leyva, M. J., Sanchez, K., Betts, N. M., Wu, M., Aston, C. E., & Lyons, T. J. (2010). Blueberries decrease cardiovascular risk factors in obese men and women with metabolic syndrome. *The Journal of Nutrition*, *140*, 1582–1587. <https://doi.org/10.3945/jn.110.124701.chokeberries>
- Batchu, S., Chaudhary, K., Wiebe, G., & Seubert, J. (2013). Bioactive compounds in heart disease. In: *Bioactive Food as Dietary Interventions for Cardiovascular Disease*. Ross, R. and Preedy, V. R. (eds.), Ed. Academic Press-Elsevier, San Diego (USA).
- Baumes, R., Bayonove, C., Barrillere, J., Escudier, J. L., & Cordonnier, R. (1988). La macération pelliculaire dans la vinification en blanc. Incidence sur la composante volatile des mouts. *Journal International des Sciences de La Vigne et du Vin*, *22*, 209–223.
- Bayonove, C. (2003). El aroma varietal: El potencial aromático de la uva. En: *Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos*. Flancy, C. (ed.), Ed. AMV Ediciones y Mundi Prensa, Madrid (España).
- Beard, J. L., Connor, J. R., & Jones, B. C. (1993). Iron in the brain. *Nutrition Research*, *1*, 128–136. <https://doi.org/10.1093/brain/46.1.128>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Ed. Springer, Dordrecht (Netherlands).
- Bell, S., & Henschke, P. A. (2005). Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *11*, 242–295. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00028.x>

- Benítez, P., Castro, R., & Barroso, G. (2003). Changes in the polyphenolic and volatile contents of “Fino” sherry wine exposed to ultraviolet and visible radiation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *51*, 6482–6487.
- Benito, S. (2001). Los flavonoides en la protección vascular a través de la dieta en ratas: actividad antioxidante y vasorrelajante. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Barcelona*, Barcelona (España).
- Berenguer, M., Vegara, S., Barrajón, E., Saura, D., Valero, M., & Martí, N. (2016). Physicochemical characterization of pomegranate wines fermented with three different *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains. *Food Chemistry*, *190*, 848–855. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.027>
- Berliner, J., & Heinecke, J. (1996). The role of oxidized lipoproteins in atherogenesis. *Free Radical Biology & Medicine*, *20*, 707–727.
- Bertuccioli, M., Clementi, S., & Giulietti, G. (1984). Relazione fra dati sensoriali ed analitici dei. *Vini d'Italia*, *3*, 27–36.
- Bibbins-Domingo, D., Glenn, M., Chertow, M. D., Pamela, G., Moran, A., Lightwood, J., Mark, J., & Goldman, L. (2010). Projected effect of dietary salt reductions on future cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, *362*, 590–599.
- Biesalski, H., Dragsted, L., Elmadfa, I., Schrenk, D., Grossklaus, R., Mu, M., Walter, P., & Weber, P. (2009). Bioactive compounds: safety and efficacy. *Nutrition*, *25*, 1206–1211. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.06.014>
- Birt, D. F., Hendrich, S., & Wang, W. (2001). Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and isoflavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*, *90*, 157–177.
- Block, G., Pateterson, B., & Subar, A. (1992). Fruit, vegetables and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer*, *18*, 1–29.
- Boido, E., Lloret, A., Medina, K., Farina, L., Carrau, F., Versini, G., & Dellacassa, E. (2003). Aroma composition of vitis vinifera cv. Tannat: the typical red wine from Uruguay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 5408–5413. <https://doi.org/10.1021/jf030087i>
- Bonat, G., Pereira-Netto, A., & Beta, T. (2011). Comparative analysis of total phenolic content, antioxidant activity and flavonoids profile of fruits from two varieties of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) throughout the fruit developmental stages. *Food Research International*, *44*, 2442–2451. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.036>
- Bors, W., Heller, W., Christa, M., & Saran, M. (1990). Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiencies. *Methods in Enzymology*, *186*, 343–355.
- Bozalongo, R., Carrillo, J. D., Torroba, M. A. F., & Tena, M. T. (2007). Analysis of French and American oak chips with different toasting degrees by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, *1173*, 10–17.

- Bravi, V. S. (2018). Aislamiento y determinación de la estructura química de principios activos presentes en *Eugenia uniflora* L., obtenidos de compuestos solubles en éter de petróleo. Tesis de Maestría. Ed. *Universidad Nacional de la Plata*. La Plata (Argentina).
- Brock, J. H. (1994). Iron in infection, immunity, inflammation and neoplasia. In: *Iron Metabolism in Health and Disease*. Brock, J. H., Halliday, J. W., Pippard, M. J. & Powell, L. W. (eds.), Ed. *Saunders Company Ltd.*, London (UK).
- Bucolo, M. (2020). Incidencia de la composición nitrogenada y azúcares reductores del mosto sobre los aromas fermentativos de vinos cv. Malbec de tres zonas vitícolas de Mendoza. Tesis de Grado. Ed. *Universidad Nacional de Cuyo*. Mendoza (Argentina).
- Bustos, R. I., Jensen, E. L., Ruiz, L. M., Rivera, S., Ruiz, S., Simon, F., Riedel, C., Ferrick, D., & Elorza, A. A. (2013). Copper deficiency alters cell bioenergetics and induces mitochondrial fusion through up-regulation of MFN2 and OPA1 in erythropoietic cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 437, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2013.06.095>
- Byaruagaba-Bazirake, G., Rensburg, P., & Kyamuhangire, W. (2013). Characterisation of banana wine fermented with recombinant wine yeast strains. *American Journal of Food and Nutrition*, 3, 105–116. <https://doi.org/10.5251/ajfn.2013.3.3.105.116>
- Cabanis, J. C. (2003). Ácidos orgánicos, sustancias minerales, vitaminas y lípidos. En: *Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos*. Flancy, C. (ed.), Ed. *AMV Ediciones-Mundi Prensa*, Madrid (España).
- Cáceres, A., Fletes, L., Aguilar, L., Ramirez, O., Figueroa, L., Taracena, A. M., & Samayoa, B. (1993). Plants used in Guatemala for the treatment of gastrointestinal disorders. Confirmation of activity against enterobacteria of 16 plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 38, 31–38. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(93\)90076-H](https://doi.org/10.1016/0378-8741(93)90076-H)
- Cadahia, E. (1995). Estudio de la composición tánica de madera, corteza y hojas de *Eucalytus Camaldulensis*, *E. Globulus* y *E. Rudis*. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid*, Madrid (España).
- Cadenas, E., & Packer, L. (1996). Handbook of Antioxidants. Ed. *Marcel Dekker Inc.*, New York (USA).
- Cai, H., Zhang, Q., Shen, L., Luo, J., Zhu, R., Mao, J., & Zhao, M. (2019). Phenolic profile and antioxidant activity of Chinese rice wine fermented with different rice materials and starters. *LWT-Food Science and Technology*, 111, 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.003>
- Callejón, R., Troncoso, A., & Morales, M. (2010). Determination of amino acids in grape-derived products: a review. *Talanta*, 81, 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.040>
- Cámara-Hurtado, M., Sánchez-Mata, M. C., & Torija-Isasa, M. E. (2003). Frutas y verduras, fuentes de salud. En: *Nutrición y Salud*. Pinto, J. A. (ed.), Ed. *Consejería de Sanidad y Consumo*, Madrid (España).

- Campbell-Platt, G. (2009). Food Science and Technology. Ed. *Wiley-Blackwell Ltd.*, Oxford (UK).
- Cao, Y., Xie, G., Wu, C., & Lu, J. (2010). A study on characteristic flavor compounds in traditional chinese rice wine-Guyue Longshan rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, 116, 182–189. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00416.x>
- Castillo, M., & Cornejo, F. (2007). Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Revista Tecnológica ESPOL*, 20, 183–188.
- Cedrón, M. T. (2004). Estudio analítico de compuestos volátiles en vino. Caracterización quimiométrica de distintas denominaciones de origen. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de la Rioja*, Logroño (España).
- Cevallos-Cevallos, J. M., Reyes de Corcuera, J. I., Etxeberria, E., Danyluk, M. D., & Rodrick, G. E. (2009). Metabolomic analysis in food science: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 557–566.
- Chambers, P., & Pretorius, I. (2010). Winemaking , science and yeast research. *EMBO Reports*, 11, 914–920.
- Chang, C. T., Chen, Y. C., Fang, J. T., & Huang, C. C. (2002). Star fruit (*Averrhoa carambola*) intoxication: an important cause of consciousness disturbance in patients with renal failure. *Renal Failure*, 24, 379–382. <https://doi.org/10.1081/JDI-120005373>
- Chaovabalikit, A., & Wrolstad, R. (2004). Anthocyanin and polyphenolic composition. *Journal of Food Science*, 69, 73–83.
- Chatonnet, P. (1995). The influence of *Brettanomyces/Dekkera* sp. yeasts and lactic acid bacteria on the ethylphenol content of red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46, 463–468.
- Chatonnet, P., Dubourdieu, D., Boidron, J., & Lavigne, V. (1993). Synthesis of volatile phenols by *Saccharomyces cerevisiae* in wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 191–202. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740620213>
- Chau, C. F., Chen, C. H., & Lin, C. Y. (2004). Insoluble fiber-rich fractions derived from *Averrhoa carambola*: hypoglycemic effects determined by in vitro methods. *LWT-Food Science and Technology*, 37, 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.001>
- Chaves, M. (2012). Uso de virutas de roble como sistema alternativo al envejecimiento en barrica de vinos Sherry tipo oloroso. Tesis Doctoral. Ed. *Universidad de Córdoba*, Córdoba (España).
- Chen, C., Yin, Z. J., & Xu, S. (2002). The history and nutrition value of rice wine. *Liquor Making*, 29, 55–56.
- Chen, D., Chia, J. Y., & Liu, S. Q. (2014). Impact of addition of aromatic amino acids

- on non-volatile and volatile compounds in lychee wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae* MERIT.ferm. *International Journal of Food Microbiology*, 170, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.10.025>
- Chen, D., & Liu, S. Q. (2016). Impact of simultaneous and sequential fermentation with *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* on non-volatiles and volatiles of lychee wines. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.050>
- Chen, M. H., & Bergman, C. J. (2005). A rapid procedure for analysing rice bran tocopherol, tocotrienol and γ -oryzanol contents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 139–151. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.09.004>
- Chen, S., & Xu, Y. (2010). The influence of yeast strains on the volatile flavour compounds of Chinese rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, 116, 190–196. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00417.x>
- Chilaka, C., Obidiegwu, J., & Akpor, O. (2010). Evaluation of the efficiency of yeast isolates from palm wine in diverse fruit wine production. *African Journal of Food Science*, 4, 764–774. <http://www.academicjournals.org/ajfs>
- Christensen, L. P., Kaack, K., & Fretté, X. C. (2007). Selection of elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes best suited for the preparation of elderflower extracts rich in flavonoids and phenolic acids. *European Food Research and Technology*, 227, 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0723-8>
- Chung, J. H., Mok, C. Y., Park, Y. S., & Lim, S. B. (2003). Changes of physicochemical properties during fermentation of peach wine and quality improvement by ultrafiltration. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 32, 506–512. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2003.32.4.506>
- Cicero, A. F. G., & Gaddi, A. (2001). Rice bran oil and *c*-oryzanol in the treatment of hyperlipoproteinemias and other conditions. *Phytotherapy Research*, 15, 277–289.
- Clifford, M. N., & Scalbert, A. (2000). Ellagitannins-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1118–1125.
- Connor, A., Luby, J., Hancock, J., Berkheimer, S., & Hanson, E. (2002). Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold temperature storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 893–898. <https://doi.org/10.1021/jf011212y>
- Cordente, A. G., Cordero-Bueso, G., Pretorius, I. S., & Curtin, C. D. (2013). Novel wine yeast with mutations in YAP1 that produce less acetic acid during fermentation. *FEMS Yeast Research*, 13, 62–73. <https://doi.org/10.1111/1567-1364.12010>
- Cortes, M. B., Moreno, J., Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (1998). Changes in aroma compounds of sherry wines during their biological aging carried out by *Saccharomyces cerevisiae* races *bayanus* and *capensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2389–2394.

- Coultate, T., & Davies, J. (1997). Alimentos. Lo que conviene saber para una alimentación correcta. Ed. *Acribia S.A.*, Zaragoza (España).
- Craig, J. T. (1988). A comparison of the headspace volatiles of kiwifruit wine with those of wine of *Vitis vinifera* variety Muller-Thurgau. *American Journal of Enology and Viticulture*, *39*, 321–324.
- Das, S. (2012). Antimicrobial and antioxidant activities of green and ripe fruits of *Averrhoa carambola* L. and *Zizyphus mauritiana* L. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, *5*, 102–105.
- Davidovic, S., Veljovic, M., Pantelic, M., Baosič, R., Natic, M., Pecic, S., & Vukosavljevic, P. (2013). Physicochemical, antioxidant and sensory properties of peach wine made from Redhaven cultivar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*, 1357–1363. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1021/jf3043727>
- Dawidowicz, A. L., Wianowska, D., & Baraniak, B. (2006). The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *LWT-Food Science and Technology*, *39*, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.005>
- de la Fé, C., Hernández, O., Palacios, J., Palacios, J., & González, E. (2001). Desarrollo del cultivo de la vid en el sector campesino-cooperativo del occidente de Cuba. *Cultivos Tropicales*, *22*, 43–49.
- de la Lama, G. (1976). Atlas del Eucalipto. Información y Ecología. Ed. *INIA. Servicio de Publicaciones*, Madrid (España).
- DeFuria, J., Bennett, G., Strissel, K., Perfield, J., Milbury, P., Greenberg, A., & Obin, M. (2009). Dietary blueberry attenuates whole-body insulin resistance in high fat-fed mice by reducing adipocyte death and its inflammatory sequelae. *Journal of Nutrition*, *139*, 1510–1516. <https://doi.org/10.3945/jn.109.105155>
- del Álamo, M., & Nevares, I. (2006). Wine aging in bottle from artificial systems (staves and chips) and oak woods. Anthocyanin composition. *Analytica Chemical Acta*, *563*, 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.030>
- del Signore, A., Stancher, B., & Calabrese, M. (2000). Characterisation of balsamic vinegars by amino acid content using a multivariate statistical approach. *Italian Journal of Food Science*, *12*, 317–332.
- Delfini, C., & Costa, A. (1993). Effects of grape must lees and insoluble materials on the alcoholic fermentation rate and the production of acetic acid, pyruvic acid and acetaldehyde. *American Journal of Enology and Viticulture*, *44*, 102–107.
- Deluc, L., Quilici, D., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M., Schlauch, K., Méillon, J. M., Cushman, J., & Cramer, G. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics*, *10*, 1–33. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-212>
- Dembitsky, V., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S., & Gorinstein, S. (2011). The multiple nutrition properties of

- some exotic fruits: biological activity and active metabolites. *Food Research International*, 44, 1671–1701. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.003>
- Demirel, S., Akcay, D., Lambey, B., Yildirim, K., & Sozmen, Y. (2007). Pomegranate wine has greater protection capacity than wine on low-density lipoprotein oxidation. *Journal of Medicinal Food*, 7, 371–374. <https://doi.org/10.1089/jmf.2006.210>
- Deng, H., Wang, C., Xiao, H., & Khan, A. (2016). Preparation and chemical characterization of banana/orange composite wine. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 1, 74–79.
- Dimitri, M. J. (1972). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Ed. ACME S. A. C. I., Buenos Aires (Argentina).
- DGCA (2012). Dirección General de Competividad Agraria. Exótica, nutritiva y productiva: La papaya de Madre de Dios. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/casos-exitosos/2012/nota8-papaya-madre-de-dios>
- Djordjević, R., Gibson, B., Sandell, M., de Billerbeck, G. M., Bugarski, B., Leskošek-Čukalović, I., Vunduk, J., Nikićević, N., & Nedović, V. (2015). Raspberry wine fermentation with suspended and immobilized yeast cells of two strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Yeast*, 32, 271–279. <https://doi.org/10.1002/yea.3060>
- Drawert, F. (1975). Formation des arômes à différents stades de l'évolution du fruit. Enzymes intervenant dans cette formation. In: *Facteurs et Regulation de la Maturation de Fruits*. Ulrich, R. (ed.). Ed. Centre National Recherche Scientifique, Paris (France).
- du Toit, M., & Pretorius, I. (2000). Microbial spoilage and preservation of wine: using weapons from nature's own arsenal. A review. *South African Journal of Enology & Viticulture*, 21, 74–96. <https://doi.org/10.21548/21-1-3559>
- Duarte, W. F., Dias, D. R., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., de Almeida, J. B., & Schwan, R. F. (2010). Characterization of different fruit wines made from cacao, cupuassu, gabirola, jaboticaba and umbu. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1564–1572. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.010>
- Dubois, P. (1989). Apport du fut de chene neuf a l'arome des vins. *Revue Des Oenologues et Des Techniques Vitivinicoles et Oenologiques*, 120, 19–24.
- Dunlevy, J. D., Kalua, C. M., Keyzers, R. A., & Boss, P. K. (2009). The production of flavour and aroma compounds in grape berries. In: *Grapevine Molecular Physiology & Biotechnology*. Roubelakis-Angelakis, K. A. (ed.). Ed. Springer, Dordrecht (Netherlands).
- Dvorakova, M., & Landa, P. (2017). Anti-inflammatory activity of natural stilbenoids: A review. *Pharmacological Research*, 124, 126–145. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.08.002>
- Dziedzic, S. Z., & Hudson, B. J. F. (1984). Phenolic acids and related compounds as antioxidants for edible oils. *Food Chemistry*, 14, 45–51.

[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(84\)90017-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(84)90017-7)

- Elliott, P., & Brown, I. (2007). Sodium intakes around the world. Ed. *World Health Organization*, Geneva (Switzerland). [https://doi.org/978 92 4 159593 5](https://doi.org/978%204%20159593%205)
- Elwood, P. C., Renaud, S., Sharp, D. S., & Beswick, A. D. (1991). Ischemic heart disease and platelet aggregation the caerphilly collaborative heart disease study. *Circulation*, 83, 38–44.
- Escanero, J. F., Cocho, J. A., & Gozález, J. M. (1998). Elementos traza: aspectos bioquímicos, analíticos y clínicos. Ed. *Comité de Publicaciones de la Sociedad Española de Bioquímica y Patología Molecular*, Barcelona (España).
- Escudero, A., Campo, E., Fariña, L., Cacho, J., & Ferreira, V. (2007). Analytical characterization of the aroma of five premium red wines. Insights into the role of odor families and the concept of fruitiness of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4501–4510.
- Etiévant, P. (1991). Volatile compounds of food and beverages. Maarse, H. (ed.) Ed. *Marcel Dekker Inc.*, New York (USA).
- Fan, W., Xu, Y., Yu, A., & Brew, J. I. (2006). Influence of oak chips geographical origin , toast level , dosage and aging time on volatile compounds of apple cider. *Journal of the Institute of Brewing*, 112, 255–263. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2006.tb00721.x>
- FAO/WHO (2001). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Human vitamin and mineral requirements. Ed. *FAO/WHO*. www.fao.org/DOCREP/004/Y2809E/y2809e0n.htm#bm23
- FAO (2007). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Tratado internacional sobre los recursos fitogeénéticos para la agricultura y la alimentación (RFAA). Ed. *FAO*. Roma (Italy). https://www.mendeley.com/catalogue/480a3eca-5513-30a8-91f7-fcb669fdaff9/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%207Bd95ab8dd-68a7-4e2a-8979-f689e82d13e9%207D
- FAO (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Seguimiento del mercado del arroz de la *FAO*. Ed. *FAO*. Roma (Italy). www.fao.org/economic/est/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento
- Fazio, A., Plastina, P., Meijerink, J., Witkamp, R. F., & Gabriele, B. (2013). Comparative analyses of seeds of wild fruits of *Rubus* and *Sambucus* species from Southern Italy: fatty acid composition of the oil, total phenolic content, antioxidant and anti-inflammatory properties of the methanolic extracts. *Food Chemistry*, 140, 817–824. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.010>
- Feduchi, E., Romero, C., Yáñez, E., & García-Hoz, C. (2021). Bioquímica conceptos esenciales. Ed. *Editorial Médica Panamericana S.A.*, Madrid (España).
- Ferguson, L., Zhu, S., & Harris, P. (2005). Antioxidant and antigenotoxic effects of plant cell wall hydroxycinnamic acids in cultured HT-29 cell. *Molecular Nutrition*

and *Food Research*, 49, 585-693.

- Fernández, B., Cadahía, E., & Jalocha, J. (2003). Volatile compounds in a Spanish red wine aged in barrels made of spanish, french, and american oak wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7671–7678. <https://doi.org/10.1021/jf030287u>
- Ferreira, V. (2007). La base química del aroma del vino: un viaje analítico desde las moléculas hasta las sensaciones olfato-gustativas. *Revista Real Academia de Ciencias*, 62, 7–36.
- Ferreira, V. (2010). Volatile aroma compounds and wine sensory attributes. In: *Managing Wine Quality*, Reynolds, A. G. (ed.), Ed. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. Cambridge (UK). <https://doi.org/10.1533/9781845699284.1.3>
- Ferreira, V., Fernandez, P., Pena, C., Escudero, A., & Cacho, J. F. (1995). Investigation on the role played by fermentation esters in the aroma of young Spanish wines by multivariate analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67, 381–392.
- Ferreira, V., & López, R. (2019). The actual and potential aroma of winemaking grapes. *Biomolecules*, 9, 1–36. <https://doi.org/10.3390/biom9120818>
- Figueiredo, L., Pinto, L., Costa, J., Silva, R., Mourão, H., Montenegro, R., Silva, K., & Maia, S. (2019). Composition, antioxidant capacity and cytotoxic activity of *Eugenia uniflora* L. chemotype-oils from the Amazon. *Journal of Ethnopharmacology*, 232, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.12.011>
- Flanzy, C. (2003). Enología: fundamentos científicos y tecnológicos. Flancy, C. (ed.), Ed. AMV Ediciones y Mundi Prensa, Madrid (España).
- Fleet, G., & Heard, G. (1993). Yeast-growth during fermentation. In: *Wine, Microbiology and Biotechnology*. Fleet, G. (ed.), Ed. Harwood Academic Publishers, Chur (Switzerland).
- Fornachon, L. (1965). Bacterial production of diacetyl and acetoin in wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 16, 710–712. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740161204>
- Fragasso, M., Antonacci, D., Pati, S., Tufariello, M., Baiano, A., Forleo, L. R., & La Notte, E. (2012). Influence of training system on volatile and sensory profiles of primitivo grapes and wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63, 477–486.
- Fraille, P., Garrido, J., & Ancin, C. (2000). Influence of a *Saccharomyces cerevisiae* selected strain in the volatile composition of rosé wines. Evolution during fermentation. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 48, 1789–1798.
- Frankel, E., & Meyer, A. (2000). The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1925–1941. [https://doi.org/doi:10.1002/1097-0010\(200010\)80:13<1925::AID-JSFA714>3.0.CO;2-4](https://doi.org/doi:10.1002/1097-0010(200010)80:13<1925::AID-JSFA714>3.0.CO;2-4)

- Frankel, E., Waterhouse, A., & Eissedre, P. (1995). Principal phenolic phytochemicals in selected California wines and their antioxidant activity in inhibiting oxidation of human low-density lipoproteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *43*, 890-894.
- Frias, S., Diaz, C., & Conde, J. (2003). Selenium and mercury concentrations in sweet and dry bottled wines from the Canary Islands, Spain. *Food Additives and Contaminants*, *20*, 237-240.
- Frivik, S., & Ebeler, S. (2003). Influence of sulfur dioxide on the formation of aldehydes in white wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, *54*, 31-38.
- Fu, J. (2005). Technology of Chinese rice wine producing. Ed. *Chemical Industry Press*. Beijing (China).
- Fuentes, J., Ramírez, I., Arteché, J., Deus, J., Suárez, E., Alonso, R., Puldón, V., Gómez, P., & Cornide, M. (2003). Genetic base of Cuban rice varieties released between 1972 and 1993. *Cultivos Tropicales*, *24*, 55-61.
- Fuentes, V. R. (2003). Apuntes para la flora económica de Cuba VII. Especies frutales. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, *24*, 177-217.
- Fuentes, V. (2008). Frutales exóticos en Cuba V. *Oxalidaceae*. *Revista Citricos y Frutas*, *25*, 53-56.
- Gaceta oficial de Cuba. (2019). *Elaborador-vendedor de vinos*. Ed. *Gaceta Oficial de la Republica de Cuba*. La Habana (Cuba). <https://portal.issn.org/resource/ISSN/1682-7511>
- Galani-Nikolakaki, S., Kallithrakas-Kontos, N., & Katsanos, A. (2002). Trace element analysis of Cretan wines and wine products. *The Science of the Total Environment*, *285*, 155-163. doi: 10.1016/S0048-9697(01)00912-3.
- García, A. (2006). Ingesta de nutrientes: conceptos y recomendaciones internacionales (1ª Parte). *Nutrición Hospitalaria*, *21*, 291-299.
- García-Puente, E., Alcalde, C., Santos, C., Rivas, J. C., & Escribano, M. T. (2006). Behaviour and characterisation of the colour during red wine making and maturation. *Analytica Chimica Acta*, *563*, 215-222. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0271531706001217?via%3Dihub>
- Garde-Cerdán, T., & Ancin-Azpilicueta, C. (2008). Effect of the addition of different quantities of amino acids to nitrogen-deficient must on the formation of esters, alcohols, and acids during wine alcoholic fermentation. *LWT—Food Science and Technology*, *41*, 501-510.
- Garde-Cerdán, T., López, R., Portu, J., González-Arenzana, L., López-Alfaro, I., & Santamaría, P. (2014). Study of the effects of proline, phenylalanine, and urea foliar application to Tempranillo vineyards on grape amino acid content. Comparison with commercial nitrogen fertilisers. *Food Chemistry*, *13*, 136-141.

- Garde-Cerdán, T., Martínez-Gil, A., Lorenzo, C., Félix, J., Pardo, F., & Salinas, M. (2011). Implications of nitrogen compounds during alcoholic fermentation from some grape varieties at different maturation stages and cultivation systems. *Food Chemistry*, *124*, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.112>
- Gąstoł, M., & Domagała-Świątkiewicz, I. (2012). Comparative study on mineral content of organic and conventional apple, pear and black currant juices. *Acta Scientiarum Polonorum Horticulture*, *11*, 3–14.
- Ge, K., & Yang, G. (1993). The epidemiology of selenium deficiency in the etiological study of endemic diseases in China. *American Journal of Clinical Nutrition*, *57*, 259S-263S.
- Gerbaux, V., Vincent, B., & Bertrand, A. (2002). Influence of maceration temperature and enzymes on the content of volatile phenols in Pinot Noir wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, *53*, 131–137.
- Gibson, R. S., Hess, S. Y., Hotz, C., & Brown, K. H. (2008). Indicators of zinc status at the population level: a review of the evidence. *British Journal of Nutrition*, *7958*, 14–23. <https://doi.org/10.1017/S0007114508006818>
- Gilbert, J., Schwieterman, M., Colquhoun, T., Clark, D., & Olmstead, J. (2013). Potential for increasing southern highbush blueberry flavor acceptance by breeding for major volatile components. *American Society for Horticultural Science*, *48*, 835–843. <https://doi.org/10.21273/hortsci.48.7.835>
- Gimeno, E. (2004). Compuestos fenólicos: un análisis de sus beneficios para la salud. *Revista Offarm. Farmacia y Sociedad*, *23*, 80–84.
- Giudici, P., Romano, P., & Zambonelli, C. (1990). A biometric study of higher alcoholic production in *S. cerevisiae*. *Canadian Journal of Microbiology*, *36*, 1–4. <https://doi.org/10.1139/m90-012>
- Goes, E. (1977). Os eucaliptos. Ecología, cultura, produção e rentabilidade. Ed. *Portucel*, Lisboa (Portugal).
- Goldaráz-Álvarez, T. (2010). *Despertar del vino en Cuba*. Excelencias Gourmet. Ed. *Exclusivas Latinoamericanas*, La Habana (Cuba). <http://www.revistasexcelencias.com/excelencias-gourmet/sentir-es-vivir-0/entrevista/despertar-del-vino-en-cuba>.
- Goldberg, M. (1996). Health effects of moderate alcohol consumption: a paradigmatic risk factor. *Clinica Chimica Acta*, *246*, 1–3.
- Gómez-Plaza, E., Pérez-Prieto, L. J., & Fernández-Fernández, J. I., López-Roca, J. M. (2004). The effect of successive uses of oak barrels on the extraction of oak-related volatile compounds from wine. *International Journal of Food Science and Technology*, *39*, 1069-1078.
- González-Rodríguez, R. M., Noguero-Pato, R., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, B., & Simal-Gándara, J. (2011). Application of new fungicides under good agricultural practices and their effects on the volatile profile of white wines. *Food Research International*, *4*, 397–403.

- Govaerts, R., Sobral, M., Ashton, P., Barrie, F., Holst, B. K., Landrum, L. L., Matsumoto, K., Mazine, F., Lughadha, E. N., Proneça, C. Soares-Silva, L. H., Wilson, P. G., & Lucas, E. (2008). World checklist of Myrtaceae. Ed. *Royal Botanic Gardens*, Richmond (UK).
- Gregorio, G. B., Senadhira, D., Htut, H., & Graham, R. D. (2000). Breeding for trace mineral density in rice. *Food and Nutrition Bulletin*, 21, 382–386. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/156482650002100407>
- Gu, G. X. (1996). Technology of brewing wine. Ed. *Light Industrial Press of China*, Beijing (China).
- Guchu, E., Díaz-Maroto, M., Pérez-Coello, M., González-Viñas, M., & Ibáñez, M. (2006). Volatile composition and sensory characteristics of Chardonnay wines treated with American and Hungarian oak chips. *Food Chemistry*, 99, 350–359.
- Guerrero-Romero, F., Jaquez-Chairez, F., & Rodríguez-Morán, M. (2016). Magnesium in metabolic syndrome: a review based on randomized, double-blind clinical trials. *Magnesium Research*, 29, 146–153. <https://doi.org/10.1684/mrh.2016.0404>
- Guggenheim, Y. (1982). Trace elements in human nutrition and health. *Harefuah*, 103, 19–22. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.1974.tb01140.x>
- Gunata, Y. Z., Bayonove, C. L., Baumes, R. L., & Cordonnier, R. E. (1985). The aroma of grapes I. Extraction and determination of free and glycosidically bound fractions of some grape aroma components. *Journal of Chromatography A*, 331, 83–90. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(85\)80009-1](https://doi.org/10.1016/0021-9673(85)80009-1)
- Hager, A., Howard, L., Prior, R., & Brownmiller, C. (2008). Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed black raspberry products. *Journal of Food Science*, 73, 134–140.
- Hallberg, L., Hulthen, L., & Gramatkovski, M. (1997). Iron absorption from the whole diet in men: how effective is the regulation of iron absorption?. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66, 347–356.
- Hambidge, K. M. (1987). Zinc. In: *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. Mertz, W. (ed.), Ed. *Academic Press*, Maryland (USA).
- Hanamura, T., Hagiwara, T., & Kawagishi, H. (2005). Structural and functional characterization of polyphenols isolated from acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) fruit. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 69, 280–286. <https://doi.org/10.1271/bbb.69.280>
- Hassimotto, N., Genovese, M., & Lajolo, F. (2005). Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2928–2935. <https://doi.org/10.1021/jf047894h>
- Havsteen, B. (1983). Flavonoids, a class of natural products of high pharmacological potency. *Biochemical Pharmacology*, 32, 1141–1148. [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(83\)90262-9](https://doi.org/10.1016/0006-2952(83)90262-9)

- He, Z., Li, J., & Xiao, H. (2016). About the journal of bioresources and bioproducts. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 1, 1–2. <https://doi.org/10.21967/jbb.v1i1.32>
- Heatherbell, D. A. (1975). Identification and quantitative analysis of sugars and non-volatile organic acids in Chinese gooseberry fruit (*Actinidia chinensis* planch.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26, 815–820. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740260613>
- Hecht, S. (1997). Approaches to cancer prevention based on an understanding of N-nitrosamine carcinogenesis. *Experimental Biology and Medicine*, 216, 181–191. <https://doi.org/10.3181/00379727-216-44168>
- Herbert, P., Cabrita, M. J., Ratola, N., Laureano, O., & Alves, A. (2006). Relationship between biogenic amines and free amino acid contents of wines and musts from Alentejo (Portugal). *Journal of Environmental Science and Health*, 41, 1171–1186.
- Hernandez-Orte, P., Cacho, J., & Ferreira, V. (2002). Relationship between varietal amino acid profile of grapes and wine aromatic composition . Experiments with model solutions and chemometric study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2891–2899. <https://doi.org/10.1021/jf011395o>
- Hernández-Orte, P., Ibarz, M. J., Cacho, J., & Ferreira, V. (2006). Addition of amino acids to grape juice of the Merlot variety: Effect on amino acid uptake and aroma generation during alcoholic fermentation. *Food Chemistry*, 98, 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.073>
- Hernández, M. (2010). *Las Frutas Tropicales*. Excelencias Gourmet. Ed. *Exclusivas Latinoamericanas*, La Habana (Cuba). <http://www.revistasexcelencias.com/caribe/sabor-sal/medio-ambiente/las-frutas-tropicales>.
- Hernanz, D., Gallo, V., Recamales, A., Meléndez-Martínez, A., González-Miret, M., & Heredia, F. (2009). Effect of storage on the phenolic content, volatile composition and colour of white wines from the varieties Zalema and Colombard. *Food Chemistry*, 113, 530–537. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.096>
- Herraiz, T., Reglero, G., Martín-Alvarez, P., Herraiz, M., & Cabezudo, M. (1991). Identification of aroma components of Spanish ‘Verdejo’ wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55, 103–116.
- Hoffmann-Ribani, R., Huber, L. S., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2009). Flavonols in fresh and processed Brazilian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 263–268.
- Houston, M. (2011). The role of magnesium in hypertension and cardiovascular disease. *The Journal of Clinical Hypertension*, 13, 843–847. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7176.2011.00538.x>
- Huang, D., Boxing, O., & Prior, R. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841–1856.

- Hwang, J., Hodis, H., & Sevanian, A. (2001). Soy and alfalfa phytoestrogen extracts become potent low-density lipoprotein antioxidants in the presence of acerola cherry extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 308-314. <https://doi.org/10.1021/jf0007028>
- Hwang, J., Peterson, H., Hodis, H., Choi, B., & Sevanian, A. (2000). Ascorbic acid enhances 17 β -estradiol-mediated inhibition of oxidized low density lipoprotein formation. *Atherosclerosis*, *150*, 275-284. [https://doi.org/10.1016/S0021-9150\(99\)00376-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9150(99)00376-7)
- Ibanez, J. G., Carreon-Alvarez, A., Barcena-Soto, M., & Casillas, N. (2008). Metals in alcoholic beverages: A review of sources, effects, concentrations, removal, speciation and analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, *21*, 672-683. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.005>
- Ingledeew, W., Magnus, C., & Sosulski, F. (1987). Influence of oxygen on proline utilization during the wine fermentation. *American Journal of Enology and Viticulture*, *38*, 246-248. <https://www.ajevonline.org/content/38/3/246>
- Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (2011). Instructivo técnico para el cultivo de la vid en cuba. Ed. *Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT)*, La Habana (Cuba). <https://es.scribd.com/document/184313637/Instructivo-Uva>
- Iturralde-Vinent, M. A. (2015). Tipología, formación y transformación de las costas de Cuba. En: *Manejo Integrado de Zonas Costeras de Cuba. Estado Actual, Retos y Desafíos*. Ed. *Imagen Contemporánea*. La Habana (Cuba).
- Ivanova, V., Vojnoski, B., & Stefova, M. (2012). Effect of winemaking treatment and wine aging on phenolic content in Vranec wines. *Journal of Food Science and Technology*, *49*, 161-172. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0279-2>
- Jagtap, U. B., & Bapat, V. A. (2014). Phenolic composition and antioxidant capacity of wine prepared from custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*, 175-182. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1111/jfpp.12219>
- Jagtap, U., & Bapat, V. (2015). Wines from fruits other than grapes: current status and future prospectus. *Food Bioscience*, *9*, 80-96.
- Jakubke, H. D., & Jeschkeit, H. (1977). Amino acids, peptides and proteins: an introduction. Ed. *John Wiley & Sons*, New York (USA).
- Janicke, B., Önning, G., & Oredsson, S. M. (2005). Differential effects of ferulic acid and *p*-coumaric acid on S phase distribution and length of S phase in the human colonic cell line Caco-2. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*, 6658-6665.
- Jáuregui-Lobera, I. (1993). Iron deficiency and cognitive function. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *13*, 521-537. <https://doi.org/10.2147/NDT.S72491>
- JECFA (2003). Compendio de especificaciones de aditivos alimentarios. Ed. *FAO/WHO and JECFA*, Geneva (Switzerland). <http://www.fao.org/food/food->

safety-quality/scientific-advice/jecfa/es/

- Jensen, K., Christensen, L. P., Hansen, M., Jørgensen, U., & Kaack, K. (2000). Olfactory and quantitative analysis of volatiles in elderberry (*Sambucus nigra* L.) juice processed from seven cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*, 237–244.
- Jeong, J., Jung, H., Lee, S., Lee, H., Hwang, K., & Kim, T. (2010). Anti-oxidant, anti-proliferative and anti-inflammatory activities of the extracts from black raspberry fruits and wine. *Food Chemistry*, *123*, 338–344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.040>
- Jiménez-Díaz, J. (2002). El cultivo de la papaya Hawaiana. Ed. *EARTH*. Guácimo (Costa Rica). <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/90022688.pdf>
- Jiménez-Escrig, A., Rincón, M., Pulido, R., & Saura-Calixto, F. (2001). Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 5489–5493. <https://doi.org/10.1021/jf010147p>
- John, J., Ziebland, S., Yudkin, P., Roe, L., & Neil, H. (2002). Effects of fruit and vegetable consumption on plasma antioxidant concentrations and blood pressure: a randomised controlled trial. *Lancet*, *359*, 1969–1974.
- Johnson, M. H., & Gonzalez de Mejia, E. (2012). Comparison of chemical composition and antioxidant capacity of commercially available blueberry and blackberry wines in Illinois. *Journal of Food Science*, *77*, 141–148. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02505.x>
- Johnson, M., Lucius, A., Meyer, T., & Gonzalez, E. (2011). Cultivar evaluation and effect of fermentation on antioxidant capacity and in vitro inhibition of α -amylase and α -glucosidase by highbush blueberry (*vaccinium corombosum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*, 8923–8930. <https://doi.org/10.1021/jf201720z>
- Jones, P. J. (2002). Clinical nutrition. Functional foods-more than just nutrition. *Canadian Medical Association Journal*, *166*, 1555-1563.
- Joshi, V., & Shah, P. (1998). Effect of wood treatment on chemical and sensory quality of peach wine during ageing. *Acta Alimentaria*, *27*, 307–318.
- Julian-Loeza, A. P., Santos-Sanchez, N. F., Valadez-Blanco, R., Sanchez-Guzman, B. S., & Salas-Coronado, R. (2010). Chemical composition, color, and antioxidant activity of three varieties of *Annona diversifolia* fruits. *Industrial Crop Production*, *34*, 1262–1268.
- Kallithraka, S., Bakker, J., Clifford, M., & Vallis, L. (2001). Correlations between saliva protein composition and some T-I parameters of astringency. *Food Quality and Preference*, *12*, 145–152. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(00\)00040-9](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(00)00040-9)
- Karthikeyan, K., Kanchana, D., Saranraj, P., & Karunya, S. K. (2015). Quantification of metabolic products from lactic acid bacteria isolated from traditional fermented dairy products. *African Education Indices*, *8*, 1–11.

- Kaur, C., & Kapoor, H. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, *36*, 703–725.
- Klarić, D., Klarić, I., Mornar, A., Velić, D., & Velić, N. (2016). Blackberry wines mineral and heavy metal content determination after dry ashing: multivariate data analysis as a tool for fruit wine quality control. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *67*, 514–523. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1181159>
- Klarić, D., Klarić, I., Velić, D., & Dragojević, I. (2011). Evaluation of mineral and heavy metal contents in croatian blackberry wines. *Czech Journal of Food Sciences*, *29*, 260–267. <https://doi.org/10.17221/132/2009-cjfs>
- Kment, P., Mihaljevič, M., Ettler, V., Šebek, O., Strnad, L., & Rohlov, L. (2005). Differentiation of Czech wines using multielement composition—A comparison with vineyard soil. *Food Chemistry*, *591*, 157–165. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.foodchem.2004.06.010>
- Ko, J., Youn, C., Kim, H., Cho, J., Lee, H., K. Lee, & Expand, A. (2014). Dietary magnesium intake and risk of cancer: a meta-analysis of epidemiologic studies. *Nutrition and Cancer*, *66*, 915–923. <https://doi.org/10.1080/01635581.2014.922203>
- Kondapalli, N., Sadineni, V., Variyar, P., Sharma, A., & Obulama, V. (2014). Impact of γ -irradiation on antioxidant capacity of mango (*Mangifera indica* L.) wine from eight indian cultivars and the protection of mango wine against DNA damage caused by irradiation. *Process Biochemistry*, *49*, 1819–1830. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.07.015>
- Kunkee, R., & Vilas, M. (2014). Towards the understanding of the relationship between yeast strains and flavour production during vinification: Flavour effect in vinification of a nondistinct variety of grape by several strains of wine yeast. *Viticicultural and Enological Science*, *49*, 46–50.
- Laffita, O., & Castillo, A. (2011). Caracterización farmacotoxicológica de la planta medicinal *Sambucus nigra* subsp. *canadensis* (L). R. Bolli. *Revista Cubana de Farmacia*, *45*, 586–596.
- Lan, Y., Wu, J., Wang, X., Sun, X., Hackman, R., Li, Z., & Feng, X. (2017). Evaluation of antioxidant capacity and flavor profile change of pomegranate wine during fermentation and aging process. *Food Chemistry*, *232*, 777–787. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.030>
- Lantzouraki, D., Sinanoglou, V., Tsiaka, T., Proestos, C., & Zoumpoulakis, P. (2015). Total phenolic content, antioxidant capacity and phytochemical profiling of grape and pomegranate wines. *Royal Society of Chemistry Advance*, *5*, 101683–101692.
- Lapinel, B., Centella, A., Gonzáles, I., Fonseca, C., & Cutie, V. (2006). Causas de la reciente sequía acaecida en la región oriental de Cuba. *International Association of Hydrological Sciences*, *308*, 304–309.
- Lara, R., Cerutti, S., Salonia, J., Olsina, R., & Martinez, L. (2005). Trace element determination of argentine wines using ETAAS and USN-ICP-OES. *Food and*

Chemical Toxicology, 43, 293–297. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2004.10.004>

Lasanta, B. (2002). Incidencia del roble de la barrica mixta en la composición química y en las características organolépticas de los vinos tintos de Rioja. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad Pública de Navarra*, Navarra (España).

Le Houèrou, H., Popov, G., & See, L. (1993). Agro-bioclimatic classification of Africa. Ed. *FAO*, Rome (Italy).

Lecha, L. B., Paz, L. R., & Lapinel, B. (1994). El clima de Cuba. Ed. *Academia de la Habana*, La Habana (Cuba).

Lee, G., Chung, H., Lee, K., & Ahn, H. (2005). Antioxidant vitamins and lipid peroxidation in patients with cervical intraepithelial neoplasia. *Journal of Korean Medical Science*, 20, 267–272.

Lee, J., & Finn, C. (2007). Anthocyanins and other polyphenolics in American elderberry (*Sambucus canadensis*) and European elderberry (*S. nigra*) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2665–2675. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3029>

Lee, P., Chong, I., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2012). Effects of sequentially inoculated *Williopsis saturnus* and *Saccharomyces cerevisiae* on volatile profiles of papaya wine. *Food Research International*, 45, 177–183.

Lee, P. R., Ong, Y. L., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. Q. (2010). Profile of volatile compounds during papaya juice fermentation by a mixed culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Williopsis saturnus*. *Food Microbiology*, 27, 853–861.

Lee, P.-R., Yu, B., Curran, P., & Liu, S.-Q. (2011a). Effect of fusel oil addition on volatile compounds in papaya wine fermented with *Williopsis saturnus* var. *mrakii* NCYC 2251. *Food Research International*, 44, 1292–1298. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.026>

Lee, P.-R., Yu, B., Curran, P., & Liu, S.-Q. (2011b). Impact of amino acid addition on aroma compounds in papaya wine fermented with *Williopsis mraki*. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 32, 220–228. <https://doi.org/10.21548/32-2-1382>

Leong, L. P., & Shui, G. (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry*, 76, 69–75. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00251-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00251-5)

Levander, O. (1987). Selenium. In: *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. Mertz, W. (ed.), Ed. *Academic Press*, Maryland (USA).

Li, H., Guo, A., & Wang, H. (2008). Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*, 108, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.065>

Li, H., Jiang, D., Liu, W., Yang, Y., Zhang, Y., Jin, C., & Sun, S. (2020). Comparison of fermentation behaviors and properties of raspberry wines by spontaneous and

- controlled alcoholic fermentations. *Food Research International*, 128, 108801. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108801>
- Li, M., Yang, R., Zhang, H., Wang, S., Chen, D., & Lin, S. (2019). Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of *Tricholoma matsutake* Singer. *Food Chemistry*, 290, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.124>
- Liew-Abdullah, A. G., Sulaiman, N. M., Aroua, M. K., & Megat-Mohd-Noor, M. J. (2007). Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. *Journal of Food Engineering*, 81, 65–71.
- Lim, J. W., Jeong, J. T., & Shin, C. S. (2012). Component analysis and sensory evaluation of Korean black raspberry (*Rubus coreanus* Mique) wines. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 918–926. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02922.x>
- Lima, H., Cornide, M. T., Alvarez, M., & Frómeta, E. (2002a). Clasificación edafoclimática de las localidades cítricas en Cuba. *Agrotecnia de Cuba*, 20, 63–74.
- Lima, V. L. A. G., de Almeida, E., & da Silva, D. E. (2002b). Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. *Scientia Agricola*, 59, 447–450.
- Litz, R. E., & Griffis, J. L. (1989). Carambola (*Averrhoa carambola*). *Biotechnology Agriculture*, 5, 59–67.
- Lodge, N. (1981). Kiwifruit: two novel processed products. *Food Technology in New Zealand*, 16, 35–43.
- Loizzo, M. R., Tundis, R., Bonesi, M., Menichini, F., Mastellone, V., Avallone, L., & Menichini, F. (2012). Radical scavenging, antioxidant and metal chelating activities of *Annona cherimola* Mill. (cherimoya) peel and pulp in relation to their total phenolic and total flavonoid contents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 25, 179–184.
- Lopez-Rituerto, E., Savorani, F., Avenoza, A., Busto, J. H., Peregrina, J. M., & Engelsens, S. B. (2012). Investigations of La Rioja terroir for wine production using 1 H NMR metabolomics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 3452–3461.
- Luh, B. S., & Wang, Z. (1984). Kiwifruit. *Advanced in Food Research*, 29, 279–309.
- Lui, C., Wang, J., Chu, C., Cheng, M., & Tseng, T. (2002). In vivo protective effect of protocatechuic acid on tertbutyl hydroperoxide-induced rat hepatotoxicity. *Food Chemistry and Toxicology*, 40, 635–641. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00002-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00002-9)
- Luo, T., Fan, W., & Xu, Y. (2007). The review of volatile and non-volatile compounds in Chinese rice wine. *Liquor Making*, 34, 44–48.
- Luo, T., Fan, W., & Xu, Y. (2008). Characterization of volatile and semi-volatile compounds in Chinese rice wines by headspace solid phase microextraction

- followed by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of the Institute of Brewing*, 114, 172-179.
- Maarse, H., & Vischer, C. A. (1989). Volatile compounds in food: qualitative and quantitative data. Ed. *TNO-CIVO Food Analysis Institute*, Zeist (Netherlands).
- Machado, S., & Schieber, A. (2010). Bioactive compounds in mango (*Mangifera Indica* L.). In: *Bioactive Foods in Promoting Health*, Watson, R.R. & Preedy, V. R. (eds). Ed. *Academic Press-Elsevier*, San Diego (USA).
- Mahattanatawee, K., Perez-Cacho, P., Venport, T., & Rouseff, R. (2007). Comparison of three lychee cultivar odour profiles using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-sulfur detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 1939–1944.
- Mallouchos, A., Skandamis, P., Loukatos, M., Koutinas, A., & Kanellaki, M. (2003). Volatile compounds of wines produced by cells immobilized on grape skins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3060–3066. <https://doi.org/10.1021/jf026177p>
- Manzini, S., Durante, C., Baschieri, M., Cocchi, S., Sighinolfi, S., Totaro, A., & Marchetti. (2011). Optimization of a dynamic headspace-thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry procedure for determination of furfurals in vinegar. *Talanta*, 85, 863–869. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.04.018>
- Marais, J., Calitz, F., & Haasbroek, P. (2001). Relationship between microclimatic data, aroma component concentrations and wine quality parameters in the prediction of Sauvignon blanc wine quality. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 22, 22–26.
- Marais, J., & Pool, H. J. (1980). Effect of storage time and temperatura on the volatile composition and quality of dry white table wines. *Vitis*, 19, 151-164.
- Marengo, E., & Aceto, M. (2003). Statistical investigation of the differences in the distribution of metals in Nebbiolo-based wines. *Food Chemistry*, 81, 621–630. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00564-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00564-2)
- Márquez, A. (2012). Estudio del secado en condiciones controladas y proceso de vinificación de uvas tintas destinadas a la obtención de vinos dulces andaluces de calidad. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba*, Córdoba (España).
- Marquez, A., Serratos, M., Merida, J., Zea, L., & Moyano, L. (2014). Optimization and validation of an automated DHS-TD-GC-MS method for the determination of aromatic esters in sweet wines. *Talanta*, 123, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.052>
- Marquina, S., Bonilla-Barbosa, J., & Alvarez, L. (2005). Comparative phytochemical analysis of four Mexican *Nymphaea* species. *Phytochemistry*, 66, 921–927.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., & Culebras, J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, 17, 271–278.

- Martínez-Ramírez, R., González-Cueto, O., & Betancourt-Rodríguez, Y. (2017). Compactación y variación del perfil del cantero provocado por la cosechadora CASE IH A8800 en suelos húmedos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 7, 30–35.
- Martínez, J., Barua, M., & Gutiérrez, A. R. (2007). Influencia del origen del roble en la modificación de la composición aromática de los vinos durante la crianza. *Enólogos*, 40, 60–63.
- Mas, O., Valle, N., Pérez, J., & Ríos, A. (1994). Introducción en Cuba y propagación de nuevas variedades de uva. *Centro Agrícola*, 21, 85–88.
- Mascotti, D. P., Rup, D., & Thach, R. E. (1995). Regulation of iron metabolism: translational effects mediated by iron, heme and cytokines. *Annual Review of Nutrition*, 15, 239–261.
- Mateus-Cagua, D., Arias C., M. E., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2015). El cultivo de carambolo (*Averrhoa carambola* L.) y su comportamiento en el piedemonte del Meta (Colombia). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9, 135–148. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3752>
- Mauricio, J., Moreno, J., Zea, L., Ortega, J., & Medina, M. (1997). The effects of grape juice fermentation conditions on volatile alcohols and esters formed by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75, 155–160.
- Mazzei, P., Spaccini, R., Francesca, N., Moschetti, G., & A. Piccolo. (2013). Metabolomic by 1H NMR spectroscopy differentiates “Fiano di Avellino” white wines obtained with different yeast strains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 10816–108221. <https://doi.org/10.1021/jf403567x>
- McGovern, P. E., Mirzoian, A., & Hall, G. R. (2009). Ancient Egyptian herbal wines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 7361-7366.
- McGovern, P., Zhang, J., Tang, J., Zhang, Z., Hall, G., Moreau, R., Nunez, A., Butrym, E., Richards, M., Wang, C. S., Cheng, G., & Zhao, Z. (2004). Fermented beverages of pre-and proto-historic China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 17593–17598. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407921102>
- McKee, T., & McKee, J. R. (2014). Bioquímica. Las bases moleculares de la vida. Ed. *McGraw-Hill Interamericana de España S.L.*, Madrid (España).
- Melchor, G., Fernández, O., Álvarez, E., Fragas, I., & Lobo, E. (2001). Evaluación del efecto antiséptico in vivo del CIKRON-H. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 32, 25–30.
- Mena, P., Girones-Vilaplana, A., Martí, N., & Garcia-Viguera, C. (2012). Pomegranate varietal wines: Phytochemical composition and quality parameters. *Food Chemistry*, 133, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.079>
- Mendes-Ferreira, A., Coelho, E., Barbosa, C., Oliveira, J., & Mendes-Faia, A. (2019). Production of blueberry wine and volatile characterization of young and bottle-

- aging beverages. *Food Science and Nutrition*, 7, 617–627.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.895>
- Menéndez, L., Guzmán, J. M., & Priego, A. (2006). *Manglares del archipiélago cubano: aspectos generales*. En: *Ecosistema de Manglar en el Archipiélago Cubano*. Ed. *Academia de la Habana*, La Habana (Cuba).
- Mercadet, J. R., Marquetti, A., Alvarez, M., Pérez, P., Echevarria, E., Hidalgo, E., Rodríguez, P., Romeu, B., Avila, D., Parada, L., Yero, P., Sotolongo, E., Martínez, H., Maresma, A., González, O. H., Hernández, A., & Paredes, L. (2001). Introducción de especies y procedencias en Cuba: resultados de la investigación y proyecciones. *Recursos Genéticos Forestales*, 29, 26–34.
- Mezadri, T., Fernández-Pachón, M. S., Villaño, D., García-Parrilla, M. C., & Troncoso, A. M. (2006). The acerola fruit: composition, productive characteristics and economic importance. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56, 101–109.
- Mierlo, L., Greyling, A., Zock, L., Kok, F., & Geleijnse, M. (2010). Suboptimal potassium intake and potential impact on population blood pressure. *Archives of Internal Medicine*, 170, 1501–1502.
<https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.471>
- Mikova, K., Havlikova, L., Velisek, J., & Pudil, F. (1984). Neutral flavour components of elderberries and elderberry products. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie*, 17, 311–313.
- Min, B., Gu, L., McClung, A. M., Bergman, C. J., & Chen, M. H. (2012). Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice. *Food Chemistry*, 133, 715–722.
- MINAG (2012). *Modificaciones al instructivo técnico para el cultivo del arroz*. Ed. *Instituto de Investigaciones de Granos*, La Habana (Cuba).
- MINAGRI (2005). *Instructivo técnico para la producción de semillas de papaya en Cuba*. Ed. *Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT)*, La Habana (Cuba).
- Mira, N. V. M., Massaretto, I. L., Pascual, C. S. C. I., & Márquez, U. M. L. (2009). Comparative study of phenolic compounds in different Brazilian rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 405–409.
- Morales, O., Leyva, Y. R., Ortiz, A., Mojera, R., Pérez, D., & Hernández, R. (2008). Implementación de tecnología para el manejo y explotación de suelos cubanos dedicados al cultivo del arroz afectado por la salinidad en la región oriental de Cuba. En: *IV Encuentro Internacional del Arroz*. Ed. *DESOFT*, La Habana (Cuba).
- Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (2005). Winemaking biochemistry and microbiology: current knowledge and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 265–286.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408690490478118>

- Moret, Y., López, J., & Carlos, S. (2010). Químico prevención de condiciones potencialmente malignas y cáncer bucal. *Acta Odontológica Venezolana*, 48, 1–10.
- Motilva, M., Macià, A., & Romero, M. (2016). Human bioavailability and metabolism of phenolic compounds from red wine enriched with free or nano-encapsulated phenolic extract. *Journal of Functional Foods*, 25, 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.05.013>
- Moyano, L., Serratos, M., Marquez, A., & Zea, L. (2019). Optimization and validation of a DHS-TD-GC-MS method to wineomics studies. *Talanta*, 192, 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.09.032>
- Moyano, L., Zea, L., Moreno, A., & Medina, M. (2010). Evaluation of the active odorants in Amontillado sherry wines during the aging process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6900–6904. <https://doi.org/10.1021/jf100410n>
- Moyano, L., Zea, L., Moreno, J., & Medina, M. (2002). Analytical study of aromatic series in sherry wines subjected to biological aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7356–7361. <https://doi.org/10.1021/jf020645d>
- Moyano, L., Zea, L., Villafuerte, L., & Medina, M. (2009). Comparison of odor-active compounds in Sherry wines processed from ecologically and conventionally grown Pedro Ximenez grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 968–973. <https://doi.org/10.1021/jf802252u>
- Muñoz, D. (2003). Aceleración de la crianza biológica de vinos finos mediante oxigenación controlada. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba*, Córdoba (España).
- Nagamine, I., Akiyama, T., Kainuma, M., Kumagai, H., Satoh, H., Yamada, K., Yano, T., & Sakurai, H. (2002). Effect of acerola cherry extract on cell proliferation and activation of ras signal pathway at the promotion stage of lung tumorigenesis in mice. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 48, 69–72. <https://doi.org/10.3177/jnsv.48.69>
- Naranjo, L., & Centella, A. (1999). Mecanismos de circulación de la atmósfera en la América tropical. En: *Informe Científico Centro del Clima*. Ed. INSMET, La Habana (Cuba).
- Natella, F., Fidale, M., & Tubaro, F. (2007). Selenium supplementation prevents the increase in atherogenic electronegative LDL (LDL minus) in the postprandial phase. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 17, 649–656.
- Natella, F., Ghiselli, A., Guidi, A., Ursini, F., & Scaccini, C. (2001). Red wine mitigates the postprandial increase of LDL susceptibility to oxidation. *Free Radical Biology and Medicine*, 73, 285–290. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(01\)00504-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00504-4)
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2018). Lehninger. Principios de Bioquímica. Ed. *Omega*, Barcelona (España).
- Ness, R., & W. Powles. (1997). Fruit and vegetables and cardiovascular disease: A

- Review. *International Journal of Epidemiology*, 26, 1–13. <https://doi.org/10.1093/ije/26.1.1>
- Nielsen, F. (2010). Magnesium, inflammation, and obesity in chronic disease. *Nutrition Reviews*, 68, 333–340. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00293.x>
- Nielsen, J. C., & Richelieu, M. (1999). Control of flavor development in wine during and after malolactic fermentation by *Oenococcus oeni*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 740–745.
- Noda-Alonso, S. (2016). Vinos cubanos, placer tropical. *Periódico Granma*. La Habana (Cuba). <http://www.gramma.cu/cuba/2016-03-02/vinos-cubanos-placer-tropical-02-03-2016-08-03-12>.
- Nordin, B. E. C. (1976). Calcium, phosphate and magnesium metabolism: clinical physiology and diagnostic procedures. Ed. *Churchill Livingstone-Elsevier*, London (UK).
- Núñez, N., & González, E. (1999). Antecedentes etnohistóricos de la alimentación tradicional en Cuba. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 13, 145-150.
- Nykänen, L. (1986). Formation and occurrence of flavor compounds in wine and distilled alcoholic beverages. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37, 84-96.
- Nykänen, L. L., Nykänen, I., & Suomalainen, H. (1977). Distribution of esters produced during sugar fermentation between the yeast cell and the medium. *Journal of the Institute of Brewing*, 83, 32–34.
- Obaedo, M., & Ikenebomeh, M. (2015). Microbiology and production of blackberries (*Musa sapientum*) wine. *Nigerian Journal of Microbiology*, 23, 1886–1891.
- Oficina Nacional de Estadísticas (2006). Anuario Estadístico de Cuba. Ed. *Oficina Nacional de Estadísticas*. La Habana (Cuba). <https://isbn.cloud/9789597119005/anuario-estadistico-de-cuba-2004-edicion-2005/>
- OIV (2008). Compendium of international methods of wine and must analysis. Ed. *International Organisation of Vine and Wine*, Paris (France). <https://www.oiv.int/fr/organisation-internationale-de-la-vigne-et-du-vin>
- Oliveira, J., Fernández, V., Miranda, C., Santos-Buelga, C., Silva, A., De Freitas, V., & Mateus, N. (2006). Color properties of four cyanidin-pyruvic acid adducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 6894–6903. <https://doi.org/10.1021/jf061085b>
- Ordoudi, S. A., Mantzouridou, F., Daftsiou, E., Malo, C., Hatzidimitriou, E., Nenadis, N., & Tsimidou, M. Z. (2014). Pomegranate juice functional constituents after alcoholic and acetic acid fermentation. *Journal of Functional Foods*, 8, 161–168.
- Ortega-Heras, M., Pérez-Magariño, S., Del-Villar-Garrachón, V., González-Huerta, C., Moro-Gonzalez, L. C., Guadarrama-Rodríguez, A., & Martín de la Helguera, S. (2014). Study of the effect of vintage, maturity degree, and irrigation on the amino

acid and biogenic amine content of a white wine from Verdejo variety. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2073–2082.

- Ortuño, J., Covas, M., Farre, M., Pujadas, M., Khymenets, O., Andres-Lacueva, C., Roset, P., Joglar, J., Lamuela-Raventós, R., & De, R. (2010). Matrix effects on the bioavailability of resveratrol in humans. *Food Chemistry*, 120, 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.032>
- Pagliarulo, C., De Vito, V., Picariello, G., Colicchio, R., Pastore, G., Salvatore, P., & Volpe, M. G. (2016). Inhibitory effect of pomegranate (*Punica granatum* L.) polyphenol extracts on the bacterial growth and survival of clinical isolates of pathogenic *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Food Chemistry*, 190, 824–831.
- Palacios, A., Vila, J., Calderon, F., Callejo, M., Colomo, B., & Suarez, J. (1995). Aromatic fraction of red wines with biological ageing, 2: Aldehydes, esters and acetoin compounds. *Alimentaria*, 264, 67–79.
- Pantelic, M., Dabic, D., Matijašević, S., Davidovic, S., Dojcinovic, B., Milojkovic-Opsenica, D., Tešić, Z. & Natic, M. (2014). Chemical characterization of fruit wine made from Oblacinska sour cherry. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/454797>
- Papandreou, M. A., Dimakopoulou, A., Linardaki, Z. I., Cordopatis, P., KlimisZacas, D., Margaritis, M., & Lamari, F. N. (2009). Effect of a polyphenol-rich wild blueberry extract on cognitive performance of mice, brain antioxidant markers and acetylcholinesterase activity. *Behavioural Brain Research*, 198, 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.11.01>
- Pareek, S., Yahia, E. M., Pareek, O. P., & Kaushik, R. A. (2011). Postharvest physiology and technology of Annona fruits. *Food Research International*, 44, 1741–1751.
- Parpinello, G., Versari, A., Chinnici, F., & Galassi, S. (2009). Relationship among sensory descriptors, consumer preference and color parameters of Italian Novello red wines. *Food Research International*, 42, 1389–1395. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.005>
- Parsons, P., & Barbosa, F. (2007). Atomic spectrometry and trends in clinical laboratory medicine. *Spectrochimica Acta Part B*, 62, 992–1003. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2007.03.007>
- Patil, A., Koli, S., Patil, D., & Phatak, A. (2019). A comprehensive review of an important medicinal plant—*Averrhoa carambola* L. *Pharmacognosy Communications*, 2, 13–17. <https://doi.10.5530/pc.2012.2.3>
- Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Physical and chemical composition of carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.) at three stages of maturity. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 2, 604–629.
- Patil, B., Jayaprakasha, G., Chidambara, K., & Vikram, A. (2009). Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 18, 8142–8160.

- Patterson, H. Y. V. I., & Burns, D. J. N. (1983). Volatile aroma constituents of kiwi fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *34*, 81–84.
- Payal, G., Pankti, K., Manodeep, G., & Jagadish, K. (2012). Phytochemical and pharmacological profile of *Averrhoa carambola*-An overview. *International Research Journal of Pharmacy*, *3*, 88–92.
- Plotka-Wasyłka, J., Rutkowska, M., Cieslik, B., Tyburcy, A., Namiesnik, J., & Department. (2017). Determination of selected metals in fruit wines by spectroscopic techniques. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2017*, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2017/5283917>
- Peled, T., Landau, E., Prus, E., Treves, A., Nagler, A., & Fibach, E. (2002). Cellular copper content modulates differentiation and self-renewal in cultures of cord blood-derived CD34+cells. *British Journal of Haematology*, *116*, 655–661. <https://doi.org/10.1046/j.0007-1048.2001.03316.x>
- Peñarrieta, J., Alvarado, J., Akesson, B., & Bergenstahl, B. (2008). Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. *Molecular Nutrition and Food Research*, *52*, 708–717.
- Pereira-Kechinski, C., Guimaraes, P., Noreña, C., Tessaro, I., & Marczak, L. (2010). Degradation kinetics of anthocyanin in blueberry juice during thermal treatment. *Journal of Food Science*, *75*, 173–176. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01479.x>
- Pérez-Coello, M. S., Briones, A. I., Ubeda, J. F., & Martín, P. J. (1999). Characteristics of wines fermented with different *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated from the La Mancha region. *Food Microbiology*, *16*, 563-573. <https://doi.org/10.1006/fmic.1999.0272>
- Pérez-León, N.J, Castro-Menduiña, R.I., González-Cepero, M.C., Aguilar-Portero, M., & García-Roque, O. (2016). Semilla original de dos cultivares de arroz cubanos: resistencia a *Tagosodes orizicolus* Muir (Sogata). *Agronomía Mesoamericana*, *27*, 243–251. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.21104>
- Pérez-Ternero, C. (2016). Evaluación del efecto protector de un extracto enzimático de salvado de arroz frente al estado inflamatorio presente en el proceso ateroesclerótico Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla*, Sevilla (España).. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/54755>
- Pérez, N., González, M. C., Castro, R. I., Cristo, E., Cárdenas, R. M., Díaz, H., Díaz, E., & Trujillo, D. (2012c). Impacto del programa de mejoramiento genético del arroz en la producción arrocería nacional. *Nueva Empresa*, *8*, 60–63.
- Pérez, T., Rodríguez, Y., Díaz, E., Domínguez, A., Riverón, Y., & Nuñez, A. (2011). Effect of the *Rhizophora mangle* L. bark preparation on the process of solid-liquid extraction. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, *16*, 94–104.
- Pérez, W. (1994). Radicais livres em níveis biológicos. Ed. *Universidade Católica de Pelotas*, Pelotas (Brasil).

- Pérez, Y., Tonieto, J., Rodríguez, A., Aranguren, M. & Farrés, E. (2012a). El clima vitícola de las regiones productoras de uvas para vinos en Cuba. En: *Clima, Zonificación y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas*. Tonietto J., Sotés, V.y Gómez-Miguel, V. D. (eds.), Ed. CYTED, Madrid (España).
- Pérez, Y., Rodríguez, A., & Farrés, E. (2012b). Evaluación de variedades de vid (*Vitis vinifera* L.) introducidas e Cuba durante los dos primeros años de producción en la región de Banao, Provincia Sancti Spiritus. Yenía. Ed. *Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical*. La Habana (Cuba). [http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2012/1/Evaluación de variedades de vid %28Vitis vinifera L.%29 introducidas en Cuba.pdf](http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2012/1/Evaluación%20de%20variedades%20de%20Vitis%20vinifera%20L.%29%20introducidas%20en%20Cuba.pdf)
- Pincirolí, M., Ponzio, N. R., & Salsamendi, M. (2015). El arroz alimento de millones. Ed. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*, Buenos Aires (Argentina).
- Pino, J. A., & Queris, O. (2011). Analysis of volatile compounds of mango wine. *Food Chemistry*, 125, 1141–1146.
- Pinto, N., Dos Santos, R., Machado, D., Florencio, J., Fagundes, E., & Antinarelli, L. (2012). Cytotoxic and antioxidant activity of *Pereskia aculeata* Miller. *Pharmacologyonline*, 3, 63–69.
- Pinto, N., Machado, D., Da Silva, J., Conegundes, J., Gualberto, A., Gameiro, J., Moreira, L., Castañón, M., & Scio, E. (2015). *Pereskia aculeata* Miller leaves present in vivo topical anti-inflammatory activity in models of acute and chronic dermatitis. *Journal of Ethnopharmacology*, 173, 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.07.032>
- Pohl, P. (2007). What do metals tell us about wine? *Trends in Analytical Chemistry*, 26, 941–949. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2007.07.005>.
- Polaskova, P., Herszage, J., & Ebeler, S. (2008). Wine flavor: Chemistry in a glass. *Chemical Society Reviews*, 37, 2478–2489.
- Posada, L. (2005). Aplicaciones de la biotecnología a la propagación de la papaya. *Biotecnología Vegetal*, 5, 67–79.
- Provenzano, M. R., Bilali, H., Simeone, V., Baser, N., Mondelli, D., & Cesari, G. (2010). Copper contents in grapes and wines from a Mediterranean organic vineyard. *Food Chemistry*, 122, 1338–1343.
- Qian, L., Zhang, C., Zuo, F., Zheng, L., Li, D., Zhang, A., & Zhang, D. (2019). Effects of fertilizers and pesticides on the mineral elements used for the geographical origin traceability of rice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 83, 103276–103278. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103276>
- Ramey, D., Bertrand, A., Ough, C., Singleton, V., & Sanders, E. (1986). Effects of skin contact temperature on Chardonnay must and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37, 99–106.
- Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O., Bourdon, E., & Bahorun, T. (2011). Polyphenol

composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*, 44, 2088-2099.

Ramírez, J., Bonete, M., & Martínez, R. (2015). Propuesta de una nueva clasificación de los oligoelementos para su aplicación en nutrición, oligoterapia y otras estrategias terapéuticas. *Nutricion Hospitalaria*, 31, 1020–1033. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.3.8325>

Rankine, B. C. (1968). Formation of ketoglutaric acid by wine yeasts and its oenological significance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 19, 624–627.

Rapp, A. (1998). Volatile flavour of wine: Correlation between instrumental analysis and sensory perception. *Nahrung*, 42, 351–363.

Rapp, A., & Versini, G. (1991). Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds in wine. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine. Ed. *American Society for Enology and Viticulture (ASEV)*, Washington (USA).

Rasouli, H., Hosseini-Ghazvini, S., Adibi, H., & Khodarahmi, R. (2017). Differential α -amylase/ α -glucosidase inhibitory activities of plant-derived phenolic compounds: A virtual screening perspective for the treatment of obesity and diabetes. *Food & Function*, 8, 1942–1954. <https://doi.org/10.1039/c7fo00220c>

Reddy, L., & Reddy, O. (2009). Effect of enzymatic maceration on synthesis of higher alcohols during mango wine fermentation. *Journal of Food Quality*, 32, 34–47.

Reddy, L., & Reddy, O. (2010). Effect of fermentation conditions on yeast growth and volatile composition of wine produced from mango (*Mangifera Indica* L.) fruit juice. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 487–491. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.007>.

Reddy, L., & Reddy, O. (2015). Production and characterization of wine from mango fruit (*Mangifera indica* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21, 1345–1350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11274-005-4416-9>.

Regalado, A. I., Sánchez, L. M., & Mancebo, B. (2016). *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo): Una especie con potencialidades de uso terapéutico. *Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research*, 4, 1–17.

Reilly, C. (2004). *The Nutritional Trace Metals*. Ed. *Wiley-Blackwell*, New Jersey, (USA).

Ribeiro, D., Freitas, R., Sena, E., & Dos Santos, R. (2007). Elaboration of a fruit wine from cocoa (*Theobroma cacao* L.) pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 319–329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01226.x>

Ribéreau-Gayon, P. (1982). The anthocyanins of grapes and wines. In: *Anthocyanins as Food Colours*. Markakis, P. (ed.). Ed. *Academic Press*, New York (USA).

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donéche, B., & Lonvaud, A. (2000). Handbook of Enology. Vol. 1. The Microbiology of Wines and Vinifications. Ed. *John Wiley*

& Sons Ltd., Chichester (England).

- Ribereau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. & Dubourdieu, D. (2006). Handbook of Enology. Vol. 2. Alcohols and other volatile compounds. The chemistry of wine stabilization and treatments. Ed. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (England).
- Righetto, A. M., Netto, F. M., & Carraro, F. (2005). Chemical composition and antioxidant activity of juices from mature and immature acerola (*Malpighia emarginata*). *Food Science and Technology International*, 11, 315–321.
- Roda, A., Lucini, L., Torchio, F., Dordoni, R., De Faveri, D., & Lambri, M. (2017). Metabolite profiling and volatiles of pineapple wine and vinegar obtained from pineapple waste. *Food Chemistry*, 229, 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.111>
- Rodríguez-Nodals, A., & Rodríguez-Manzano, A. (2000). El papayo Maradol: un aporte cubano a la fruticultura tropical. *Revista Cubana Agricultura*, 1, 73–77.
- Rodríguez-Hernández, G., Rentería-Monterrubio, A., Rodríguez-Figueroa, J., & Chávez-Martínez, A. (2014). Bioactive peptides in milk and their derivatives: functionality and health benefits. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1, 281–294. <https://doi.org/On-line version ISSN 2007-901X>
- Rodríguez, A. A., & Sánchez, P. (2005). Especies de frutales cultivadas en Cuba en la agricultura urbana y suburbana. Ed. *Agrifor*, La Habana (Cuba).
- Rogerson, F., Castro, H., Fortunato, N., Azevedo, Z., Macedo, A., & De Freitas (2001). Chemicals with sweet aroma descriptors found in Portuguese wines from the Douro region: 2,6,6-Trimethylcyclohex-2-ene-1,4-dione and diacetyl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 263-269. <https://doi.org/10.1021/jf000948c>
- Roig, J. (1988). Plantas medicinales, aromáticas y venenosas de Cuba. Ed. *Científico-Técnica*, La Habana (Cuba).
- Rojas, V., Gil, J. V., Pinaga, F., & Manzanares, P. (2003). Acetate ester formation in wine by mixed cultures in laboratory fermentations. *International Journal of Food Microbiology*, 86, 181–188.
- Romano, P., & Suzzi, G. (1996). A review: origin and production of acetoin during wine yeast fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 309–315. <https://doi.org/10.1128/aem.62.2.309-315.1996>
- Romano, P., Suzzi, G., Turbanti, L., & Polsinelli, M. (1994). Acetaldehyde production in *Saccharomyces cerevisiae* wine yeasts. *FEMS Microbiology Letters*, 118, 213–218.
- Rong, N., Ausman, L. M., & Nicolosi, R. J. (1997). Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters. *Lipids*, 32, 303–309.
- Rosa, S. M., & De Souza, L. A. (2003). Morfo-anatomia do fruto (hipanto, pericarpo e semente) em desenvolvimento de *Pereskia aculeata* Miller (Cactaceae). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 25, 415–428. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v25i2.2046>

- Rosanoff, A., Weaver, C., & Rude, R. (2012). Suboptimal magnesium status in the United States: are the health consequences underestimated. *Nutrition Reviews*, *70*, 153–164. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00465.x>
- Rovedder, A. P. M., Piazza, E. M., Thomas, P. A., Felker, R. M., Hummel, R. B., & de Farias, J. A. (2016). Potential medicinal use of forest species of the deciduous seasonal forest from atlantic forest biome, South Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *59*, 1–11. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2016150329>
- Rücker, V., Assis, G.A. Bauer, L., & Schikarski, M. (1977). New constituents of *Stenocylax michelii*. *Planta Médica*, *31*, 322–327.
- Ruiz, M. (2011). Actividad odorante de mostos procedentes de uvas cv. Pedro Ximénez pasificadas tradicionalmente y en condiciones controladas. Elaboración de vinos licorosos. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba*, Córdoba (España).
- Ruiz, M. J., Moyano, L., & Zea, L. (2014). Changes in aroma profile of musts from grapes cv. Pedro Ximenez chamberdried at controlled conditions destined to the production of sweet Sherry wine. *LWT-Food Science and Technology*, *59*, 560–565. <https://doi.org/doi:10.1016/j.lwt.2014.04.056>.
- Ruiz, M., Zea, L., Moyano, L., & M. Medina. (2010). Aroma active compounds during the drying of grapes cv. Pedro Ximenez destined to the production of sweet Sherry wine. *European Food Research and Technology*, *230*, 429–435. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1183-0>
- Rupasinghe, H. P., Joshi, V., Smith, A., & Parmar, I. (2017). Chemistry of fruit wines. In: Science and Technology of Fruit Wine Production. Kosseva, M., Joshi, V. & Panesar, P. S. (eds.), Ed. *Academic Press*, Massachusetts (USA). <https://doi.org/DOI:10.1016/B978-0-12-800850-8.01001-2>
- Rupasinghe, H. P., & Clegg, S. (2007). Total antioxidant capacity, total phenolic content, mineral elements, and histamine concentrations in wines of different fruit sources. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*, 133-137.
- Salgueiro, J., Weill, R., Hernández-Triana, M., Zubillaga, M., Lysionek, A., Goldman, C., Ruiz, V., Boccio, J., & Caro, R. (2004). Deficiencia de zinc en relación con el desarrollo intelectual y sexual. *Revista Cubana de Salud Pública*, *30*, 1–13. <https://doi.org/0864-3466>
- Sánchez-Acosta, M. (2006). Productos sólidos a partir de madera de eucaliptos cultivados de eucaliptos cultivados. *Boletín del CIDEU*. Ed. *El Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano*, Barcelona (España).
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Compuestos polifenólicos: efectos fisiológicos. Actividad antioxidante. *Alimentaria*, *329*, 29–40.
- Sanchez-Moreno, C., Cao, G., Ou, B., & Prior, R. L. (2003). Anthocyanin and proanthocyanidin content in selected white and red wines. Oxygen radical absorbance capacity comparison with nontraditional wines obtained from highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 4889–4896.

- Sánchez, L., Armenteros, M., & Varcárcel, L. (2000). Actividad antimicrobiana de los principales grupos químicos presentes en *Rhizophora mangle* L. *Revista de Salud Animal*, 22, 174–179.
- Sandström, B. (1997). Bioavailability of zinc. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51, 17–19.
- Santos, K., Matias, E., Tintino, S., Souza, C., Braga, M., Guedes, G., Rolón, M., Vega, C., Rojas, A., Menezes, I., & Coutinho, H. (2012). Experimental Parasitology Anti-Trypanosoma cruzi and cytotoxic activities of *Eugenia uniflora* L. *Experimental Parasitology*, 131, 130–132. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2012.02.019>
- Sanz, M. (2011). Compuestos fenotípicos y volátiles en madera de acacia (robinia pseudoacacia), cerezo (prunus avium), castaño (castanea sativa) y fresno (fraxinus excelsior y fraxinus americana) con vistas a su utilización en tonelería. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid*, Madrid (España).
- Sarmiento, I. (2002). Bebidas y ambiente social en la Cuba del siglo XIX. *Caravelle*, 78, 81–104. <https://doi.org/10.3406/carav.2002.1351>
- Satora, P., Semik-Szczurak, D., Tarko, T., & Buldys, A. (2018). Influence of selected *Saccharomyces* and *Schizosaccharomyces* strains and their mixed cultures on chemical composition of apple wines. *Journal of Food Science*, 83, 424–431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.14042>.
- Saucier, C., & Waterhouse, A. (1999). Synergetic activity of catechin and other antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 4491–4494. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1021/jf990352t>
- Sauvage, L., Frank, D., Stearne, J., & Millikan, M. (2002). Trace metal studies of selected white wines: An alternative approach. *Analytica Chimica Acta*, 458, 223–230. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)01607-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01607-5).
- Schmidtke, L., Blackman, J., Clark, A., & Grant-Preece, P. (2013). Wine metabolomics: objective measures of sensory properties of semillon from GC-MS profiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 11957–11967. <https://doi.org/10.1021/jf403504p>
- Schmitzer, V., Veberic, R., Slatnar, A., & Stampar, F. (2010). Elderberry (*Sambucus Nigra* L.) wine: A product rich in health promoting compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 10143–10146. <https://doi.org/10.1021/jf102083s>
- Schreier, P. & Jennings, W. G. (1979). Flavour composition of wines. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 12, 59–111.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 205–222.
- Scrimshaw, N. S. (1984). Functional consequences of iron deficiency in Human

- populations. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 30, 47–63. <https://doi.org/10.3177/jnsv.30.47>
- Scull, R., Miranda, M., & Infante, R. (1998). Plantas medicinales de uso tradicional en Pinar del Río: Estudio etnobotánico I. *Revista Cubana de Farmacia*, 32, 57–62.
- Seeram, N. (2008). Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 627–629. <https://doi.org/10.1021/jf071988k>
- Seeram, N., Adams, L., Zhang, Y., Lee, R., Sand, D., Scheuller, H. S., & Heber, D. (2006). Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 9329–9339. <https://doi.org/10.1021/jf061750g>
- Seigneur, M., Bonnet, J., Dorian, B., Benchimol, D., Drouillet, F., Gouverneur, G., Larrue, J., Crockett, R., Boisseau, M. R., Ribereau-Gayon, P., & Bricaud, H. (1990). Effect of the consumption of alcohol, white wine and red wine on platelet function and serum lipids. *Journal of Applied Cardiology*, 5, 215–222. <https://doi.org/08832935>
- Selli, S., Canbas, A., Cabaroglu, T., Erten, H., Lepoutre, J., & Günata, Z. (2006). Effect of skin contact on the free and bound aroma compounds of the white wine of *Vitis vinifera* L. cv Narince. *Food Control*, 17, 75–82.
- Seo, M.Y., Chung, S.Y., Choi, W.K., Seo, Y.K., Jung, S.H., Park, J.M., Seo, M.J., Park, J.K., Kim, J.W., & Park, C.S. (2009). Anti-aging effect of rice wine in cultured human fibroblasts and keratinocytes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 107, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2008.11.016>
- Serratosa, M., Márquez, A., López-Toledano, A., Medina, M., & Mérida, J. (2011). Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity in relation to their phenolic composition during the chamber drying of red grapes at a controlled temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 1882–1892. <https://doi.org/10.1021/jf1042536>
- Seruga, M., Grgi, J., & Mandi, M. (1994). Aluminium content of soft drinks from aluminium cans. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 198, 313–316. <https://doi.org/10.1007/BF01193181>
- Sevda, S. B., & Rodrigues, L. (2011). Fermentative behaviour of *Saccharomyces* strains during guava (*Psidium Guajava* L.) must fermentation and optimization of guava wine production. *Journal of Food Processing & Technology*, 2, 1–9. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000118>.
- Shahsavandia, S., Majid-Ebrahimia, M., & Farahanib, A. (2017). Interfering with lipid raft association: a mechanism to control influenza virus infection by *Sambucus nigra*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 16, 1147–1154.
- Shang, Y. H., Zeng, Y. J., Zhu, P., & Zhong, Q. P. (2016). Acetate metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* at different temperatures during lychee wine

- fermentation. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 30, 512–520. <https://doi.org/10.1080/13102818.2016.1142831>
- Shankar, A. H., & Prasad A.S. (1998). Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68, 447–463. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.2.447S>
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*, 59, 211–218.
- Sharma, V. C., & Ogbeide, O. N. (1982). Pawpaw as a renewable energy resource for the production of alcohol fuels. *Energy*, 7, 871–873.
- Shen, F., Niu, X., Yang, D., Ying, Y., Li, B., Zhu, G., & Wu, J. (2010). Determination of amino acids in Chinese rice wine by Fourier transform near-infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 9809–9816. <https://doi.org/10.1021/jf1017912>
- Shen, S., Xia, L., Xiong, N., Liu, Z., & Sun, H. (2013). Determination of the geographic origin of rice by element fingerprints and correlation analyses with the soil of origin. *Analytical Methods*, 5, 6177–6185. <https://doi.org/10.1039/c3ay40700d>
- Shin, T. S., Godber, J. S., Martin, D. E., & Wells, J. H. (1997). Hydrolytic stability and changes in E vitamers and oryzanol of extruded rice bran during storage. *Journal of Food Science*, 62, 704–708.
- Shui, G., & Leong, L. (2006). Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food Chemistry*, 97, 277–284.
- Silva, P., Ferreira, S., & Nunes, F. (2017). Elderberry (*Sambucus nigra* L.) by-products a source of anthocyanins and antioxidant polyphenols. *Industrial Crops and Products*, 9, 227–234.
- Singh, B., Singh, R., Prakash, D., Dhakarey, R., & Upadhyay, G. (2009). Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing potentials of *Moringa oleifera*. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 1109–1116. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.01.034>
- Slavin, J. (2003). Why whole grains are protective: biological mechanisms. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 135–142.
- Sosa, J. A. (2017). Dimensión social de la tecnología. Práctica tecnológica vinicultura artesanal urbana como elemento de la identidad cultural de Cienfuegos, Cuba (1994-2012). *Argumentos de Razón Técnica*, 20, 31–44. <https://portal.issn.org/resource/ISSN/1682-7511>
- Soufleros, E. H., Bouloumpasi, E., Tsarchopoulos, C., & Biliaderis, C. G. (2003). Primary amino acid profiles of Greek white wines and their use in classification according to variety, origin and vintage. *Food Chemistry*, 80, 261–273.
- Soufleros, E. H., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakis, M., Mermelas, K., Boukouvalas, G.,

- & Tsimitakis, E. (2001). Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition. *Food Chemistry*, 75, 487–500. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00207-2)
- Sponholz, W. R. (1993). Wine spoilage by microorganisms. In: *Wine Microbiology and Technology*. Fleet, G. H. (ed.), Ed. *Harwood Academic Publishing*, Amsterdam (Switzerland).
- Stahl, W., Ale-Agha, N., & Polidori, M. C. (2002). Non-antioxidant properties of carotenoids. *Biological Chemistry*, 383, 553–558.
- Stamler, J., Elliott, P., Dennis, B., Dyer, A. R., Kesteloot, H., Liu, K., & Ueshima, H. (2003). INTERMAP: background, aims, design, methods, and descriptive statistics (nondietary). *Journal of Human Hypertension*, 17, 591–608. <https://doi.org/10.1038/sj.jhh.1001603>
- Stępniewska, A., Czech, A., Malik, A., Chałabis-Mazurek, A., & Ognik, K. (2016). The influence of winemaking on the content of natural antioxidants and mineral elements in wines made from berry fruits. *Journal of Elementology*, 21, 871–880. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.4.1020>
- Stull, A. J., Cash, K. C., Johnson, W. D., Champagne, C. M., & Cefalu, W. T. (2010). Bioactives in blueberries improve insulin sensitivity in obese, insulin-resistant men and women. *Journal of Nutrition*, 140, 1764–1768. <https://doi.org/10.3945/jn.110.125336>
- Styger, G., Prior, B., & Bauer, F. (2011). Wine flavor and aroma. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38, 1145–1159.
- Su, M., & Chien, P. J. (2010). Aroma impact components of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) vinegars. *Food Chemistry*, 119, 923–928.
- Suman, D. O. (1994). Los manglares de Cuba: ecología. El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservación. Ed. *University of Miami*, Miami (USA).
- Sun, N., Gao, Z., Li, S., Chen, X., & Guo, J. (2021). Assessment of chemical constitution and aroma properties of kiwi wines obtained from pure and mixed fermentation with *Wickerhamomyces anomalus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11344>
- Sun, S., Jiang, W., & Zhao, Y. (2011b). Comparison of aromatic and phenolic compounds in cherry wines with different cherry cultivars by HS-SPME-GC-MS and HPLC. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 100–106. <https://doi.org/doi:10.1111/>
- Sun, S. Y., Che, C. Y., Sun, T. F., Lv, Z. Z., He, S. X., Gu, H. N., Shen, W. J., Chi, D. C., & Gao, Y. (2013). Evaluation of sequential inoculation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Oenococcus oeni* strains on the chemical and aromatic profiles of cherry wines. *Food Chemistry*, 138, 2233–2241. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.foodchem.2012.12.032>

- Sun, S. Y., Jiang, W. G., & Zhao, Y. (2011a). Evaluation of different *Saccharomyces cerevisiae* strains on the profile of volatile compounds and polyphenols in cherry wines. *Food Chemistry*, *127*, 547–555.
- Sun, X., Yan, Z., Zhu, J., Wang, Y., Li, B., & Meng, X. (2019). Effects on the color, taste and anthocyanins stability of blueberry wine by different contents of mannoprotein. *Food Chemistry*, *279*, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.139>
- Swiegers, J. H., Bartowsky, E. J., Henschke, P. A., & Pretorius, I. S. (2005). Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *11*, 139–173. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00285.x>
- Tao, M., Dai, Q., Millen, A. E., Nie, J., Edge, S. B., Trevisan, M., Shields, P. G., & Jo, L. (2016). Associations of intakes of magnesium and calcium and survival among women with breast cancer: results from Western New York exposures and breast cancer (WEB) study. *American Journal of Cancer Research*, *6*, 105–113.
- Taylor, V., Longerich, H., & Greenough, J. (2003). Multielement analysis of Canadian wines by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and multivariate statistics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 856–860. <https://doi.org/10.1021/jf025761v>
- Teissedre, P., & Landrault, N. (2000). Wine phenolics: contribution to dietary intake and bioavailability. *Food Research International*, *3*, 461–467.
- Tejada-Cifuentes, F. (2008). Alteraciones del equilibrio del Potasio: Hipopotasemia. *Revista Clínica de Medicina de Familia*, *2*, 129–133.
- Tejada, L., Alvarado, J., Debiec, M., Peñarrieta, J. M., Cárdenas, O., Alvarez, M. T., Chawade, A., & Bergenstahl, B. (2014). Relating genes in the biosynthesis of the polyphenol composition of Andean colored potato collection. *Food Science and Nutrition*, *2*, 46–57.
- Temsamani, H., Krisa, S., Decossas-Mendoza, M., Lambert, O., Mérillon, J., & Richard, T. (2016). Piceatannol and other wine stilbenes: a pool of inhibitors against α -synuclein aggregation and cytotoxicity. *Nutrients*, *8*, 1–9. <https://doi.org/10.3390/nu8060367>
- Thackeray, E., Sanderson, S., Fox, J., & Kumar, N. (2011). Hepatic iron overload or cirrhosis may occur in acquired copper deficiency and is likely mediated by hypoceruloplasminemia. *Journal of Clinical Gastroenterology*, *45*, 153–158. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e3181dc25f7>
- Thole, J., Kraft, T., Sueiro, L., Kang, Y., Gills, J., Cuendet, M., Pezzuto, J., & Seigler, D. (2006). Comparative evaluation of the anticancer properties of european and american elderberry fruits. *Journal of Medicinal Food*, *9*, 498–504. <https://doi.org/10.1089/jmf.2006.9.498>
- Thurston, P. A., Taylor, R., & Ahvenainen, J. (1981). Effects of linoleic acid supplements on the synthesis by yeast of lipids and acetate esters. *Journal of the Institute of Brewing*, *87*, 92–95.

- Tobergte, D., & Curtis, S. (2013). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 1689–1699.
- Torrea, D., Varela, C., Ugliano, M., Ancin-Azpilicueta, C., Francis, I. L., Henschke, P. A., Leigh, I., & Henschke, P. A. (2011). Comparison of inorganic and organic nitrogen supplementation of grape juice. Effect on volatile composition and aroma profile of a Chardonnay wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Food Chemistry*, 127, 1072–1083. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.092>
- Tsuda, T. (2012). Dietary anthocyanin-rich plants: Biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56, 59–170. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100526>
- Tucker, J., & Townsend, D. (2005). Alpha-tocopherol: roles in prevention and therapy of human disease. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 59, 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2005.06.005>
- Uauy, R., Olivares, M., & Gonzalez, M. (1998). Essentiality of copper in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 67, 952S-959S.
- Valero, E., Millán, C., Ortega, J. M., & Mauricio, J. C. (2003). Concentration of amino acids in wine after the end of fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 830–835. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1417>
- Van Dam, R. M., Hu, F. B., Rosenberg, L., Krishnan, S., & Palmer, J. R. (2006). Dietary calcium and magnesium, major food sources, and risk of type 2 diabetes in U.S. black women. *Diabetes Care*, 29, 2238–2243. <https://doi.org/10.2337/dc06-1014>
- Vang, O., Ahmad, N., Baile, C. A., Baur, J. A., Brown, K., Csiszar, A., Dipak, K., Delmas, D., Gottfried, C., Lin, H., & Ma, Q. (2011). What is new for an old molecule? Systematic review and recommendations on the use of resveratrol. *Plos One*, 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019881>
- Vannini, L., Simone, G., Norscia, P., Romano, P., & Suzzi, G. (1994). Acetaldehyde production as a selective characteristic in *Saccharomyces cerevisiae*. *Industria Delle Bevande*, 23, 414–417.
- Varakumar, S., Naresh, K., Variyar, P., Sharma, A., & Reddy, O. (2013). Role of malolactic fermentation on the quality of Mango (*Manguifera Indica* L.) wine. *Food Biotechnology*, 27, 119–136. <https://doi.org/10.1080/08905436.2013.781506>
- Vasconcelos, G., Garcia, D., Jimenez, P., & Silva, I. (2013). Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. *Journal of Funtional Foods*, 5, 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.01.029>
- Veberic, R., Jakopic, J., Stampar, F., & Schmitzer, V. (2009). European elderberry (*Sambucus nigra* L.) rich in sugars, organic acids, anthocyanins and selected polyphenols. *Food Chemistry*, 114, 511–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.080>

- Velić, D., Klarić, D. A., Velić, N., Klarić, I., Tominac, V., & Mornar, A. (2018). Chemical constituents of fruit wines as descriptors of their nutritional, sensorial and health-related properties. In: *Descriptive Food Science*. Díaz, A. V. & García-Gimeno R. M. (eds.), Ed. *Intech Open*, London (UK). <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/intechopen.78796>
- Vendramini, A., & Trugo, L. (2004). Phenolic compounds in acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *15*, 664–668. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532004000500009>
- Vernin, G., Pascal-Mousselard, H., Metzger, J., & Parkanyi, C. (1993). Aromas of Mourvèdre wines. In: *Shelf-Life Studies of Food and Beverages*. Charalambous, G. (ed). Ed. *Elsevier*, Amsterdam (Switzerland).
- Vinson, J., Su, X., Zubik, L., & Bose, P. (2001). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 5315–5321. <https://doi.org/10.1021/jf0009293>
- Vitoria-Miñana, I. (2015). Vitaminas y oligoelementos. *Pediatrica Integral*, *5*, 324-336.
- Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. (2010). Pomegranate and its many functional components as related to human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *9*, 635–654.
- Vuorinen, H., Määttä, K., & Törrönen, R. (2000). Content of the flavonols myricetin, quercetin, and kaempferol in finnish berry wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*, 2675–2680. <https://doi.org/10.1021/jf991388o>
- Walter, M., Marchezan, E., & Avila, L. (2008). Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, *38*, 1184–1192.
- Wang, L. S., & Stoner, G. D. (2008). Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters*, *269*, 281–290.
- Wang, L., Xu, Y., Zhao, G., & Li, J. (2004). Rapid analysis of flavor volatiles in apple wine using headspace solid-phase microextraction. *Journal of the Institute of Brewing*, *110*, 57–65. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00181.x>
- Wang, Y., Ye, D., Zhu, B., Wu, G-F., & Duan, C. Q. (2014). Rapid HPLC analysis of amino acids and biogenic amines in wines during fermentation and evaluation of matrix effect. *Food Chemistry*, *163*, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.064>
- Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2016). *Understanding Wine Chemistry*. Ed. *Wiley-Blackwell*, Oxford (UK).
- Waterlow, J. C. (1992). Protein-energy malnutrition. In: *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, Arnold, E. (ed.). Ed. *Oxford Academic*, Oxford (UK).
- Weber, C., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant capacity and anticancer properties of red raspberry. The 8th international Rubus and ribes symposium. *Acta Horticulturae*, *585*, 451–455.

- Whelton, K., He, J., Cutler, A., Brancati, L., Appel, L., Follmann, D., & Klag, J. (1997). Effects of oral potassium on blood pressure. Meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Journal of the American Medical Association*, *277*, 1624–1632.
- White, J. A., & Hart, R. T. (1992). Derivatization methods for liquid chromatographic separation of amino acid. In: *Food Analysis by HPLC*. Nollet, L. M. L., (ed.), Ed. Marcel Dekker Inc. New York (USA).
- Wilson, E. L., & Burns, D. J. W. (1983). Kiwi juice processing using heat treatment techniques and ultra-filtration. *Journal of Food Science*, *48*, 1101–1105.
- WHO (2012). World Health Organization. Potassium intake for adults and children. Ed. WHO, Geneva (Switzerland). [https://doi.org/ISBN 978 92 4 150482 9](https://doi.org/ISBN%20978%2092%204%20150482%209)
- Wu, D., Boyd, D., Fix, J., & Burr, B. (1990). Regional patterns of bone loss and altered bone remodeling in response to calcium deprivation in laboratory rabbits. *Calcified Tissue International*, *47*, 18–23. <https://doi.org/10.1007/BF02555861>
- Xia, M., Ling, W. H., Ma, J., Kitts, D. D., & Zawistowski, J. (2003). Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein e deficient mice. *The Journal of Nutrition*, *133*, 744–751.
- Xiao, Z., Fang, L., Niu, Y., & Yu, H. (2015). Effect of cultivar and variety on phenolic compounds and antioxidant activity of cherry wine. *Food Chemistry*, *186*, 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.050>
- Xie, G., Li, W., Lu, J., Cao, Y., Fang, H., Zou, H., & Hu, Z. (2007). Isolation and identification of representative fungi from Shaoxing rice wine wheat Qu using a polyphasic approach of culture-based and molecular-based methods. *Journal of the Institute of Brewing*, *113*, 272–279. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2007.tb00287.x>
- Xu, E., Long, J., Wu, Z., Li, H., Wang, F., Xu, X., Jin, Z., & Jiao, A. (2015). Characterization of volatile flavor compounds in chinese rice wine fermented from enzymatic extruded rice. *Journal of Food Science*, *80*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12935>
- Xu, X., Pin, S., Gathinji, M., Fuchs, R., & Harris, Z. (1998). Aceruloplasminemia: an inherited neurodegenerative disease with impairment of iron homeostasis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *67*, 972–977. <https://doi.org/10.1196/annals.1306.024>
- Xu, Z., & Godber, J. S. (1999). Purification and identification of components of g-oryzanol in ricebran oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*, 2724–2728.
- Xuan, L., Linwei, L., Wasila, H., Zhongmei, G., Tian, Y., & Beita, Z. (2014). Variation of polyphenols composition and bioactivities of pomegranate wines along in vitro digestion process. *Journal of Food and Nutrition Research*, *2*, 839–835.
- Yabaya, A., Bobai, M., & Adebayo, L. (2016). Production of wine from fermentation

- of *vitis vinifera* (grape) juice using *Saccharomyces cerevisiae* strain isolated from palm wine. *International Journal of Information Research and Review*, 03, 2834–2840.
- Yawadio, R., Tanimori, S., & Morita, N. (2007). Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*, 101, 1616–1625.
- Yildirim, S., Bulut, M., Lee, C. M., Kazemzadeh, A., Busso, C., Deng, Z., Lee, S., & Narayanan, S. (2004). An acoustic study of emotions expressed in speech. *Proceedings Interspeech*, 2193-2196, doi: 10.21437/Interspeech.2004-242
- Yoo, K., Al-Farsi, M., Lee, H., Yoon, H., & Lee, C. (2010). Antiproliferative effects of cherry juice and wine in Chinese hamster lung fibroblast cells and their phenolic constituents and antioxidant activities. *Food Chemistry*, 123, 734–740.
- Youdim, K., Martin, A., & Joseph, J. A. (2000). Incorporation of the elderberry anthocyanins by endothelial cells increases protection against oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, 29, 51–60. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(00\)00329-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(00)00329-4)
- Youravonga, W., Lib, Z., & Laorko, A. (2010). Influence of gas sparging on clarification of pineapple wine by microfiltration. *Journal of Food Engineering*, 96, 427–432.
- Yuan, F., Cheng, K., Gao, J., & Pan, S. (2018). Characterization of cultivar differences of blueberry wines using GC-QTOF-MS and metabolic profiling methods. *Molecules*, 23, 1–18. <https://doi.org/10.3390/molecules23092376>
- Yue, T., Jing, X., GuangJing, C., Yao, X., & Quan, J. (2018). Determination of polyphenols by high performance liquid chromatography and analysis of their change in papaya wine during fermentation. *Food and Fermentation Industries*, 44, 209–216. <https://doi.org/http://sf1970.cnif.cn/.../ts.015036#1>
- Zafra-Stone, S., Yasmin, T., Bagchi, M., Chatterjee, A., Vinson, J., & Bagchi, D. (2007). Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, 675–683. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700002>
- Zea, L., Moreno, J., & Medina, M. (1995). Characterization of aroma fractions in biological aging of white fino type wine from Montilla-Moriles region. *Acta Horticulturae*, 388, 233–238. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1995.388.35>
- Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (2010). Changes in aroma profile of sherry wines during the oxidative ageing. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2425–2432. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02422.x>
- Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (2008). Odorant active compounds in Amontillado wines obtained by combination of two consecutive ageing processes. *European Food Research and Technology*, 227, 1687–1692. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0894-y>
- Zea, L., Moyano, L., Moreno, J. A., & Medina, M. (2007). Aroma series as fingerprints

for biological ageing in fino sherry-type wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2319–2326. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2992>

Zea, L., Serratos, M., Mérida, J., & Moyano, L. (2015). Acetaldehyde as key compound for the authenticity of sherry wines: A study covering 5 decades. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 681–693. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12159>

Zhang, J., Wang, X., Yu, O., Tang, J., Gu, X., Wan, X., & Fang, C. (2011). Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) during fruit development and maturation. *Journal of Experimental Botany*, 62, 1103–1118. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq343>

Zhang, M. W., Guo, B. J., & Peng, Z. M. (2004). Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P content in indica black pericarp rice and their genetic correlations with grain characteristics. *Euphytica*, 135, 315–323.

Zhengchang, S. (2009). Chinese rice wine industry status. *Zhong Guo Huang Jiu*, 57, 6–10.

Zhong, W., Chen, T., Yang, H., & Li, E. (2020). Isolation and selection of *non-saccharomyces* yeasts being capable of degrading citric acid and evaluation its effect on kiwi fruit wine fermentation. *Fermentation*, 6, 25–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation6010025>

Zhou, J. (1996). Chinese rice wine brewing process. Ed. *China Light Industry Press*, Beijing (China).

Zhou, J. (2002). Discussion on amino acid in yellow rice wine and control son its content. *Liquor-Making Science & Technology*, 4, 73–74.

Zhu, G., Li, B., Liu, X., & Zheng, Y. (2008). Comparison study of amino acids in yellow rice wine by high-performance anion-exchange chromatography. *Liquor-Making Science & Technology*, 4, 108–111.

Zoecklein, B. W., Fugelsang, K. C., Gump, F. H., & Nury, F. S. (1995). Wine analysis and production. Ed. *Springer*, Dordrecht (Netherlands).

CAPÍTULO II. MATERIAL Y MÉTODOS

1. MUESTRAS DE VINOS

En el trabajo investigativo se utilizaron 10 vinos cubanos procedentes de “Bodegas El Rey” Camagüey, Cuba; elaborados con diferentes materias primas: arroz (*Oryza sativa* L., *Plantae, Poaceae*), uvas (*Vitis vinifera*, *Plantae, Vitaceae*), papaya (*Carica papaya* L., *Plantae, Caricaceae*), cerezas (*Cerasus*, *Plantae, Rosaceae*), frutilla (*Pereskia aculeata*, *Plantae, Cactaceae*), sauco (*Sambucus nigra*. L, *Plantae, Adoxaceae*) y carambola (*Averrhoa carambola* L, *Plantae, Oxalidaceae*). En algunos procesos de elaboración se utilizó parte de vendimia con *Botrytis cinérea* (*Botryotinia fuckeliana*, *Fungi, Sclerotiniaceae*), este hongo fue aislado de los campos de cultivo de uva de la región de Camagüey (Cuba). El vino de arroz elaborado con arroz torrefacto fue tratado con el hongo *Aspergillus oryzae* durante la fermentación. La materia prima y el proceso de elaboración de los vinos estudiados se muestra a continuación:

Vinos de uva (G)

Se han estudiado 5 vinos de uva, elaborados mediante diferentes procesos de vinificación tradicionales de la zona.

G1: Vino de uva (2015)

Vino elaborado con uvas de las variedades Aramón y Cimarrona. En el proceso se utilizó mezcla de vendimia botritizada con vendimia fresca al 50%, aproximadamente. Las uvas se sometieron a estrujamiento seguido de un proceso de maceración carbónica durante 24 horas donde se encontraba la flora salvaje endémica de la uva. La fermentación se realizó inoculando con levadura seca activa (LSA), sin retirar los hollejos y pepitas de la uva. Posteriormente, tras un proceso de decantación y filtrado, se realizó el trasiego del vino, dejándolo reposar en contacto con virutas o “chips” de madera tostada, provenientes de *Rhizophora mangle* L. Como paso final previo al embotellado, el vino se sometió a un proceso de clarificado y filtrado con bentonita y tierra de diatomeas, respectivamente.

G2: Vino de uva (2014)

Vino elaborado con uvas de la variedad Cimarrona. El proceso de vinificación fue similar al mencionado anteriormente. Las uvas se sometieron a estrujamiento seguido de un proceso de maceración carbónica durante 24 horas donde se encontraba la flora salvaje endémica de la uva. La fermentación se realizó inoculando con LSA, sin retirar los hollejos y pepitas de la uva. Como paso final previo al embotellado, el vino se sometió a un proceso de clarificado y filtrado con bentonita y tierra de diatomeas, respectivamente.

G3: Vino de uva (2015)

Vino elaborado con uvas de la variedad Aramón. El proceso de vinificación comenzó mezclando uva botritizada con uva fresca al 50%, aproximadamente. A continuación, la mezcla de uvas se sometió a estrujamiento seguido de un proceso de maceración carbónica durante 24 horas donde se encontraba la flora salvaje endémica de ambas variedades de uvas. De forma similar a la elaboración de los vinos anteriores, la

fermentación se realizó sin retirar los hollejos y las pepitas de la uva e inoculando con LSA. Seguidamente, se llevó a cabo el trasiego del vino, dejándolo reposar en contacto con “chips” de madera tostada, provenientes de *Rhizophora mangle* L. Previo al embotellado el vino fue clarificado con bentonita y filtrado con tierra de diatomeas.

G4: Vino de uva pasificada (2016)

Vino elaborado con uvas de las variedades Aramón y Cimarrona. Dichas uvas fueron sometidas durante 10-15 días a deshidratación parcial mediante soleado, hasta la obtención de las pasas. Las pasas se mezclaron con uvas botritizadas y se prensaron para obtener el mosto. El mosto obtenido se sometió a un proceso de cocción para la inactivación de las enzimas. Posteriormente se llevó a cabo la fermentación con un pie de cuba procedente de mosto de uva fresca inoculado con LSA. Finalmente, el vino obtenido se trasegó, y se dejó en reposo hasta su clarificación con bentonita antes del embotellado.

G5: Vino de uva (2014)

Vino elaborado con uvas de la variedad Aramón, sometidas a estrujamiento y posterior proceso de maceración carbónica, durante 24 horas, con flora salvaje endémica de la fruta. La fermentación se realizó con inóculos de LSA. Seguido del trasiego, el vino se dejó en reposo y a continuación fue clarificado con gelatina y bentonita. Como paso final se procedió al filtrado con tierra de diatomeas y embotellado.

TF1: Vino de frutilla (2016)

Vino elaborado con frutilla. Su proceso de elaboración se realizó con el estrujamiento y fermentación inicial de la fruta con flora salvaje, endémica de la fruta. Posteriormente se realizó la inactivación de enzimas por cocción. La fermentación final se produjo previa inoculación de LSA, seguida de trasiego, reposo y clarificado con bentonita. Como paso final se realizó el filtrado con tierra de diatomeas antes del embotellado.

TF2: Vino de papaya (2016)

Vino elaborado con papaya madura (Clon de la Maradol). El proceso de elaboración se realizó mediante estrujamiento y fermentación inicial de la fruta con flora salvaje endémica de la fruta. Seguidamente se realizó la inactivación de las enzimas por cocción. La fermentación final se completó previa inoculación con LSA, y adición de chips procedentes de la corteza de eucalipto (*Corymbia citriodora*). Como paso final se realizó el trasiego, reposo, clarificado con bentonita y posterior filtrado con tierras de diatomeas antes del embotellado.

TF3: Vino de frutas tropicales y uvas (2016)

Vino elaborado con mezcla de frutas de diferentes variedades parcialmente deshidratadas, tales como: uvas de las variedades Aramón y Cimarrona, carambola, papaya, saúco y cereza. Se realizó la inactivación de las enzimas por cocción del mosto resultante y posteriormente se llevó a cabo una primera fermentación con un pie de cuba procedente de mosto de uva fresca. A continuación, se realizó una segunda

fermentación con inóculo de LSA, seguido de trasiego y reposo. Previo al embotellado el vino se clarificó con bentonita.

R1: Vino de arroz (2016)

Vino elaborado de semillas de arroz. Su elaboración se realizó mediante la adición de un volumen de agua entre 2 y 3 veces el volumen de arroz empleado. Seguidamente, se añadió azúcar para realizar una primera fermentación con LSA. Posteriormente, se separó la masa de arroz del vino. Dicho vino se enriqueció de nuevo con azúcar y con inóculos de LSA para llevar a cabo una segunda fermentación. Por último, el vino se sometió a un proceso de decantación natural, y tras su trasiego fue embotellado.

R2: Vino de arroz (2016)

Vino elaborado a partir de la mezcla de semillas de arroz pulido (50-75%) y de la masa de arroz obtenida de la elaboración del vino anterior. Esta masa fue previamente secada y tostada hasta obtener el arroz torrefactado. Seguidamente, a la mezcla resultante se le adicionó con un volumen de agua entre 2 y 3 veces el volumen de arroz empleado y fue inoculado con LSA. Posteriormente se realizó un proceso de contaminación controlada con *Aspergillus oryzae*. Por último, el vino se sometió a decantación natural, y tras su trasiego fue embotellado.

2. REACTIVOS

2.1. REACTIVOS EMPLEADOS EN LAS DETERMINACIONES GENERALES

Soluciones tampón (pH 7.0 y pH 4.0), hidróxido de sodio, tetraborato de sodio decahidrato o bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), yodo, yoduro de potasio, ácido tartárico, ácido clorhídrico, fenoltaleína y almidón. Todos los reactivos fueron obtenidos de Sigma-Aldrich (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania).

2.2. REACTIVOS EMPLEADOS EN LA DETERMINACIÓN DE MINERALES, AMINOÁCIDOS, CONTENIDO TOTAL DE POLIFENOLES, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS DEL AROMA

El ácido nítrico (HNO_3), ácido perclórico (HClO_4) y los patrones de calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), zinc (Zn), cadmio (Cd), cobre (Cu) y plomo (Pb) fueron obtenidos de Riedel-de Haën (Seelze, Alemania).

Los patrones de aminoácidos L-ácido aspártico, L-glutamina, L-asparagina, L-serina, L-histidina, L-glicina, L-treonina, L-arginina, L-alanina, ácido γ -aminobutírico (GABA), L-prolina, L-tirosina, L-valina, L-metionina, L-cisteína, L-isoleucina, L-triptófano, L-leucina, L-fenilalanina, L-ornitina y L-lisina fueron obtenidos de Sigma Chemie (Steinheim, Alemania). Así como borato de sodio, metanol, etanol, dietiletoximetilmalonato (DEEMM), acetato de sodio, azida sódica, acetonitrilo, ácido gálico, carbonato de sodio, persulfato de potasio, cloruro de sodio, los reactivos

Folin-Ciocalteu (mezcla de ácido fosfotúngstico y ácido fosfomolibdico), DPPH (2,2-difenilpicrilhidrazilo), Trolox (ácido 6- hidroxil-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-carboxílico), ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico), γ -heptalactona y los patrones de los diferentes compuestos del aroma fueron suministrados por Sigma-Aldrich Corporation (St. Louis, USA). Todos los reactivos fueron de calidad analítica.

3. DETERMINACIONES GENERALES

3.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

La medida del pH de los vinos estudiados se realizó mediante medición directa con un medidor de pH modelo TOA DKK (corporación DKK-TOA, Japón) (Figura 2.1), calibrado con soluciones tampón de pH 7.00 y 4.00 a 25 °C (estándares OIV MA-AS313-15: R2011).



Figura 2.1. pHmetro TOA DKK.

3.2. ACIDEZ TOTAL

La acidez total del vino es la suma de los ácidos determinados cuando se titula a pH 7 frente a una solución alcalina estándar. El dióxido de carbono no se incluye en esta acidez. Se lleva a cabo mediante una titulación directa de 20 mL de vino, con una solución de NaOH 0.1 N hasta pH 7. Los resultados se expresaron como meq/L (OIV, 2008).

3.3. ACIDEZ VOLÁTIL

La acidez volátil se define como el conjunto de los ácidos de cadena corta presentes en el vino, excluyendo los ácidos láctico, succínico, carbónico y el dióxido de azufre. Esta determinación se realiza por arrastre de los ácidos volátiles con vapor de H₂O en un destilador enológico DE-1626 (Figura 2.2). La rectificación de los vapores y posterior valoración de los mismos se llevó a cabo según el método de la OIV (2008). Para ello, se tomó una muestra de 20 mL de vino, al que previamente se eliminó CO₂ mediante agitación durante 5 minutos a temperatura ambiente. La muestra se acidificó con 5 mL de una disolución de 100 g/L de ácido tartárico y se procedió al arrastre de los ácidos volátiles, hasta recoger aproximadamente 200 mL de destilado, que se valoró con una disolución de NaOH 0.1 N, con fenoltaleína como indicador.



Figura 2.2. Destilador enológico DE-1626

El resultado se corrigió restándole la interferencia del SO₂. Para ello se procedió, en primer lugar, a la valoración del SO₂ libre con I₂ 0.01 N y almidón como indicador tras

la acidificación con unas gotas de HCl puro y la adición de un cristal de KI. Posteriormente, se valoró el SO₂ combinado con I₂ 0.01 N tras la adición de 20 mL de disolución de Na₂B₄O₇·10H₂O al destilado. Finalmente, la acidez volátil se expresó como meq/L.

3.4. GRADO ALCOHÓLICO VOLUMÉTRICO

El grado alcohólico volumétrico real, se entiende como el número de litros de etanol contenidos en 100 litros de vino, medidos ambos volúmenes a una temperatura de 20 °C. Para ello, se realizó una destilación del vino alcalinizado, mediante una suspensión de hidróxido cálcico y posterior determinación del grado alcohólico en el destilado por aerometría.

4. DETERMINACIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS

Las medidas espectrofotométricas se realizaron en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25 (Figura 2.3), tras filtración por papel HA-0.45 µm (Millipore). Se realizaron cubetas de cuarzo de 1 mm de paso óptico; corrigiendo, posteriormente, los resultados para un paso de luz de 1 cm. Se midieron las absorbancias a 420 nm (como contribución del color amarillo-marrón) y a 520 nm (como contribución del color rojo).



Figura 2.3. Perkin Elmer Lambda 25.

5. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES

La determinación de minerales en los vinos estudiados se realizó de acuerdo con los métodos internacionales descritos por la OIV (2008). Las muestras de vino se trataron con una mezcla de los ácidos HNO₃ y HClO₄, a alta temperatura. Los macro y microelementos solubilizados se diluyeron para su evaluación cuantitativa. La cuantificación de los elementos se realizó mediante espectrofotometría utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-6800, (Shimadzu corporation, Japón) con acetileno y equipado con lámpara de cátodo hueco, quemador de aire-acetileno y un auto-muestreador (Figura 2.4). Las longitudes de onda específicas para cada elemento fueron: Ca ($\lambda = 422.7$ nm), Fe ($\lambda = 248.3$ nm), Mg ($\lambda = 285.3$ nm), Zn ($\lambda = 213.9$ nm), Cd ($\lambda = 228.8$ nm), Cu ($\lambda = 324.8$ nm) y Pb ($\lambda = 283.3$ nm).



Figura 2.4. Espectrofotómetro modelo Shimadzu AA-6800.

6. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDOS POR HPLC-DAD

6.1. DISOLUCIÓN MADRE DE PATRONES DE AMINOÁCIDOS

Para la cuantificación de los aminoácidos presentes en los vinos estudiados, se preparó una disolución de 1 mg/mL de cada uno de los 21 aminoácidos. Las soluciones acuosas fueron preparadas con agua ultrapura purificada en equipo Millipore Simplicity 185 system (Millipore, Milford, USA). A continuación, se preparó la disolución madre conteniendo todos los aminoácidos y se hicieron diluciones para obtener disoluciones en un rango de concentración de los aminoácidos entre 2.5 - 400 µg/mL, según los aminoácidos.

6.2. REACCIÓN DE DERIVATIZACIÓN

La reacción de derivatización, tanto de los vinos como de las disoluciones patrón de aminoácidos, se realizó en un tubo ámbar donde se introdujo 1 mL de muestra, 1.75 mL de tampón borato 1 M (pH=9), 750 µL de metanol y 30 µL de agente derivatizante DEEMM. La mezcla se introdujo en un baño de ultrasonidos durante 30 minutos a 30 r.p.m. Posteriormente se calentó a 70 °C durante 2 horas en una plancha térmica hasta degradar el exceso de agente derivatizante y de reactivos.

6.3. IDENTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDOS

La identificación y cuantificación de los aminoácidos se llevó a cabo en un HPLC acoplado a una bomba cuaternaria ProStar 240, con un automuestreador ProStar 410 y un detector de diodos en fila (DAD) ProStar 330 Agilent (Agilent, Alemania) (Figura 2.5). La separación cromatográfica se realizó en una columna ACE HPLC (ZORBAX-Eclipse C18) con un tamaño de partícula de 5 µm y de dimensiones 250 mm x 4.6 mm.

Se trabajó a una temperatura constante de 20 °C en un horno MFE-01. Las disoluciones tampón utilizadas como fase móvil fueron: mezcla de solución acetato de sodio 25 mM, pH 5.8 con azida sódica al 0.02% (Fase móvil A) y mezcla de disolución acetonitrilo/metanol (80:20) (Fase móvil B). El volumen de inyección fue 5 µL. La elución de los aminoácidos se realizó mediante un gradiente de elución HPLC según se muestra en la Tabla 2.1, a una velocidad de flujo de 0.9 mL/min. La detección de los aminoácidos se realizó a una longitud de onda de 280 nm.



Figura 2.5: Imagen del HPLC Agilent.

Tabla 2.1. Gradiente de elución empleado en el HPLC.

Tiempo (min)	0.0	20.0	30.5	33.5	65.0	73.0	78.0	82.0	85.0
Fase A (%)	90	90	83	83	60	28	18	0	0
Fase B (%)	10	10	17	17	40	72	82	100	100

La identificación de los aminoácidos en los vinos se realizó tomando como punto de partida el método diseñado por Gómez-Alonso *et al.* (2007). En este caso, se ajustó el rango de pH a 7 ($7.0 \leq \text{pH} \leq 7.2$) lo que permitió mejorar la línea de base (Figura 2.6) y la separación cromatográfica de los aminoácidos a la longitud de 280 nm respecto al método original. Además, no se agregó el estándar interno, por lo que se tomaron como referencia los datos obtenidos en cada una de las muestras de aminoácidos patrón.

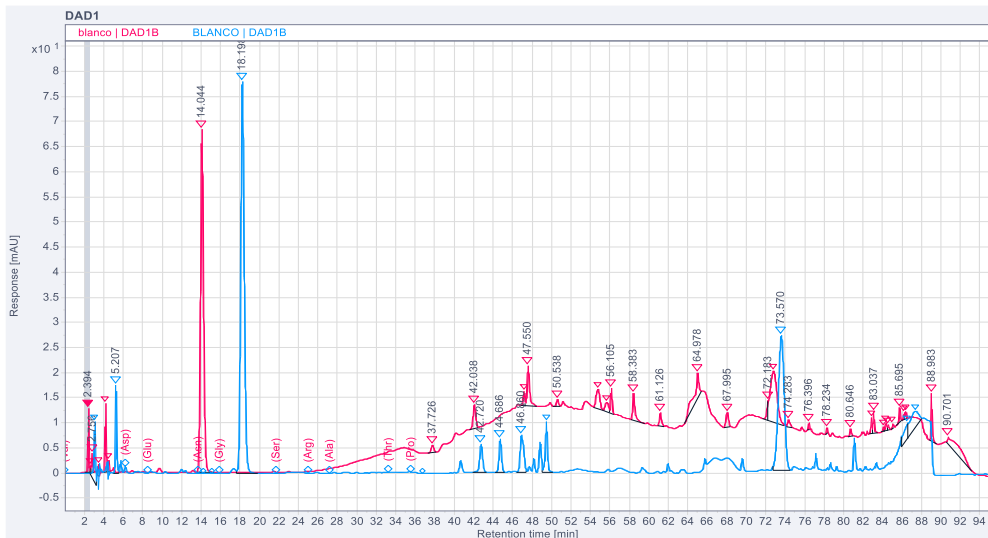


Figura 2.6. Cromatograma de la línea base (solución derivatizante DEEMM sin aminoácidos) a pH original 5.6 (color rojo) y a pH modificado 7.0 (color azul).

La variación en el valor de pH de la fase móvil y el uso de la columna cromatográfica ZORBAX-Eclipse plus C18 permitió la obtención de mejores resultados cromatográficos en comparación con los autores anteriormente citados. Además, empleando una longitud de onda de 280 nm se resolvió el mismo número de aminoácidos pero en un menor tiempo (62 min) (Figura 2.7).

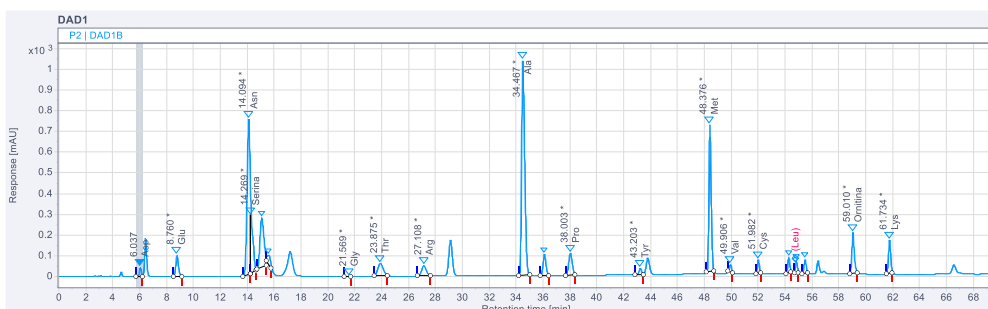


Figura 2.7. Cromatograma de la mezcla patrón de los 21 aminoácidos analizados.

La Tabla 2.2 muestra el rango de calibración, el coeficiente de regresión (r^2) y los límites de detección (LD) y de cuantificación (LC) para cada uno de los patrones de aminoácidos. El coeficiente de regresión fue superior a 0.99 para la mayoría de los aminoácidos identificados, con la excepción de Asn, Ile y Leu, lo que indica una excelente linealidad de la respuesta. La repetibilidad del método se realizó mediante el

análisis consecutivo de 6 repeticiones de una mezcla estándar de aminoácidos. Todos los datos de los coeficientes de variación resultantes fueron reproducibles, precisos y estaban por debajo del 5% del valor límite de aceptación. La concentración de los aminoácidos en las muestras de vinos se realizó mediante comparación de los tiempos de retención y áreas de los picos de la mezcla patrón de aminoácidos. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

Tabla 2.2. Rango de calibración, coeficiente de regresión (r^2) y límites de detección (LD) y cuantificación (LC) de los patrones de aminoácidos.

Pico	Aminoácido	Rango calibración (mg/L)	r^2	LD (mg/L)	LC (mg/L)
1	Asp	5 - 400	0.9988	7.76	15.35
2	Glu	5 - 400	0.9987	8.20	16.21
3	Asn	2.5 - 40	0.9591	5.39	9.87
4	Ser	5.0 - 40	0.9946	1.93	3.90
5	His	2.5 - 40	0.9961	1.61	3.28
6	Gly	2.5 - 40	0.9962	1.61	3.26
7	Thr	2.5 - 40	0.9986	0.96	1.98
8	Arg	2.5 - 40	0.9973	1.37	2.79
9	Ala	2.5 - 400	0.9981	9.96	19.02
10	GABA	5 - 400	0.9980	10.09	19.90
11	Pro	5 - 400	0.9909	21.76	43.10
12	Tyr	5 - 400	0.9996	4.33	8.61
13	Val	2.5 - 20	0.9904	1.27	2.70
14	Met	2.5 - 40	0.9928	2.17	4.35
15	Cys	2.5 - 20	0.9944	0.97	1.97
16	Ile	2.5 - 40	0.9877	2.62	5.18
17	Trp	5 - 400	0.9994	0.66	1.36
18	Leu	5 - 40	0.9527	5.64	10.56
19	Phe	5 - 400	0.9967	12.38	24.87
20	Ornitina	5 - 400	0.9991	6.90	13.66
21	Lys	5 - 40	0.9917	2.39	4.78

7. CONTENIDO TOTAL DE POLIFENOLES

La técnica se basa en el método propuesto por Singleton *et al.* (1999), con algunas modificaciones, la cual consiste en una reacción de reducción/oxidación entre los polifenoles presentes en una muestra y el reactivo de Folin-Ciocalteu. Para ello, a 50 μ L de extracto filtrado por 0.45 μ m, se le añadió 1.250 mL de reactivo de Folin Ciocalteu diluido 1:5 en agua destilada. Tras una vigorosa agitación y reposo de 1 minuto a temperatura ambiente (25 °C), se añadió 1 mL de carbonato sódico al 10%. La mezcla se agitó de nuevo y se dejó reaccionar durante 30 minutos a temperatura ambiente y en oscuridad. Tras este tiempo, se midió la absorbancia a 760 nm usando un espectrofotómetro UV-vis Perkin Elmer Lambda 25. Los resultados se compararon con una curva de calibrado de ácido gálico y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por litro (mg GAE/L).

8. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

8.1. MÉTODO DPPH

La actividad antioxidante se determinó de acuerdo con el método usado por Alen-Ruiz *et al.* (2009). Para ello, se preparó diariamente una disolución de DPPH de concentración 45 mg/L en metanol, almacenándola en oscuridad. Se utilizó como estándar una disolución de 80 mg/L de Trolox (un análogo de la vitamina E). Se usaron las muestras de vino diluidas 1:10 con una disolución de etanol 12% en agua, de las cuales se tomaron alícuotas de 200 μ L que se añadieron en cubetas de 1 cm de paso óptico, que contenían 3 mL de la disolución de DPPH.

Paralelamente, se preparó un blanco (200 μ L de muestra diluida + 3 mL de metanol), un control (200 μ L de etanol 12% en agua + 3 mL de la disolución de DPPH) y un estándar (200 μ L de la disolución de Trolox + 3 mL de la disolución de DPPH). Se midió la absorbancia a 517 nm, a tiempo 0 del control y del blanco, a temperatura ambiente, pasados 10 minutos de incubación, se midió la absorbancia a la misma longitud de onda del estándar y de la muestra. Los resultados, expresados en mg de equivalentes de Trolox por litro (mg T.E./L), se calcularon de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$A.A \text{ (mmol T.E./L)} = (0.32 \times A_2 \times \text{factor dilución})/A_1$$

donde:

$$A \text{ muestra} = A \text{ muestra}_{(t=10 \text{ min})} - A \text{ blanco}_{(t=0)}$$

$$A_1 = A \text{ control}_{(t=0)} - A \text{ muestra}_{(t=10 \text{ min})}$$

$$A_2 = A \text{ control}_{(t=0)} - A \text{ estándar}_{(t=10 \text{ min})}$$

8.2 MÉTODO ABTS

El método propuesto por Re *et al.* (1999) consiste en la medida de la capacidad de los antioxidantes presentes en una muestra de atrapar los radicales catiónicos ABTS \bullet^+ .

Para la determinación, se disolvió ABTS en agua hasta una concentración de 7 mM. El catión radical ABTS (ABTS \bullet^+) se produjo haciendo reaccionar la solución madre de ABTS con persulfato de potasio 2.45 mM (concentración final) y dejando que la mezcla reposara en la oscuridad a temperatura ambiente durante 12-16 h antes de su uso, para que el radical permaneciera estable. Posteriormente, la solución ABTS \bullet^+ se diluyó con etanol hasta obtener una absorbancia a 734 nm de 0.70 ± 0.02 u.a. Para la medida se añadió 100 μ L de la muestra de vino a 3.9 mL de disolución diluida de ABTS \bullet^+ y se midió la absorbancia a 734 nm exactamente 1 min después de la mezcla inicial en un espectrofotómetro Beckman DU-460 (Beckman Instruments Inc., Fullerton, CA, USA), obteniendo un valor de absorbancia A. Paralelamente se preparó una cubeta con 100 μ L de agua y 3.9 mL de la disolución diluida de ABTS \bullet^+ que se midió inmediatamente a 734 nm (A_0). El valor de actividad antioxidante se calculó a través del porcentaje de inhibición según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

Los valores del % de inhibición se compararon con una recta de calibrado preparada con patrones de Trolox y los resultados se expresaron en mg de equivalentes de Trolox por litro (mg T.E./L).

9. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS DEL AROMA

La determinación de compuestos del aroma de los vinos estudiados se realizó mediante dos métodos diferentes.

9.1. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN LIBRE DE COMPUESTOS DEL AROMA MEDIANTE EXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA

Para la determinación de los compuestos aromáticos libres y conjugados se empleó un cartucho ENV + de Isolute (Uppsala, Suiza) empaquetado con 1 g de polímero de estireno-divinilbenceno (SDVB) altamente reticulado (40-140 μm , cod. No. 915-0100-C) para la adsorción y elución separada de los metabolitos según el método propuesto por Boido *et al.*, (2003). Los cartuchos se acondicionaron secuencialmente con metanol (40 mL) y agua destilada (20 mL). Se pasó una muestra de 50 mL de vino diluido con 50 mL de agua destilada y que contenía 0.1 mL de estándar interno (1-heptanol a 230 mg/L en una solución hidroalcohólica al 50%), con una jeringa a un caudal aproximado de 4-5 mL/min). A continuación, el residuo se lavó con 15 mL de agua destilada. Los compuestos aromáticos libres se eluyeron con 30 mL de diclorometano, la disolución se secó con Na_2SO_4 y se concentró a 1.5 mL en una columna Vigreux. La muestra se almacenó a -10°C hasta su posterior tratamiento. Inmediatamente antes del análisis CG-MS (Cromatografía de Gases con detector de Espectrometría de Masas), la muestra se concentró hasta 100 μL bajo una suave corriente de nitrógeno.

El análisis de CG-MS se realizó en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC-17A) acoplado a un detector de espectrometría de masas (Shimadzu QP 2020), utilizando una columna capilar de sílice fundida DB-WAX 30 (Agilent Technologies J&W, Santa Clara, CA, EE.UU.), recubierta con polietilenglicol (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm). El gas portador utilizado fue helio a un caudal constante de 1.5 mL/min. Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 240°C . La temperatura del horno se programó a 40°C durante 8 min, luego se elevó hasta 180°C a $3^\circ\text{C}/\text{min}$, posteriormente hasta 220°C a $5^\circ\text{C}/\text{min}$ durante 20 min y finalmente hasta 240°C a $20^\circ\text{C}/\text{min}$ durante 15 min; utilizando el modo de inyección split (relación split 1:40). El espectrómetro de masas actuó en modo de ionización electrónica a 70 eV en Modo Scan.

Los compuestos se identificaron mediante la comparación de su índice de retención lineal (LRI) calculado por inyección de hidrocarburos alifáticos C8-C39, y la comparación del espectro de masas con los que se encuentran en las bases de datos (Adams, 2007; E. Boido *et al.*, 2002, 2013; McLafferty & Stauffer, 1991). La

cuantificación se llevó a cabo mediante el método del estándar interno utilizando 1-heptanol para compuestos aromáticos libres y nonil- β -D-glucopiranosido, que se libera después de la hidrólisis enzimática como 1-nonanol, para los compuestos unidos glucosidicamente.

9.2. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS DEL AROMA MEDIANTE EXTRACCIÓN EN ESPACIO DE CABEZA

La determinación de los compuestos del aroma de los vinos estudiados se realizó mediante extracción en el espacio de cabeza de los metabolitos volátiles utilizando un sistema DHS (“Dinamic Head Space”) con un muestreador automático

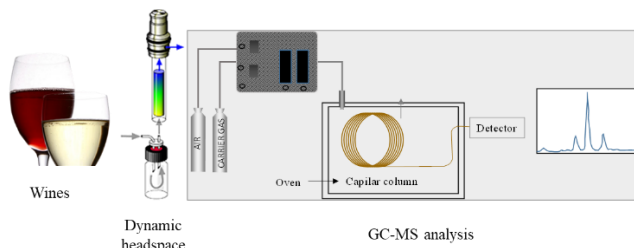


Figura 2.8. Esquema del proceso de determinación de metabolitos volátiles (Moyano *et al.*, 2019).

Gerstel MPS2 (Mülheim an der Ruhr, Dinamarca). El material sorbente utilizado fue Tenax TA (polímero de óxido de 2,6-difenileno, Gerstel) acondicionado antes de su uso según lo recomendado por el fabricante. Para la extracción de los metabolitos se utilizó un vial de vidrio de 20 mL de capacidad donde se colocaron 5 mL de la muestra de vino. Seguidamente, se añadió 1.5 g de NaCl y 50 μ L de estándar interno (γ -heptalactona 11.52 mg/L). A continuación, la muestra se termostató a 40 °C y se agitó a 500 rpm durante 10 min. Posteriormente, el espacio de cabeza de la muestra se purgó con un flujo de He de 25 mL/min hasta un volumen total de purga de 300 mL, recolectándose los analitos a 50 °C. Para reducir la cantidad de vapor acuoso muestreado, el tubo se secó a 25 °C con un flujo de He de 10 mL/min hasta un volumen total de 50 mL.

La desorción térmica y el criofoco de los metabolitos volátiles se realizó mediante una unidad de termodesorción (TDU) y un sistema de inyección de refrigeración (CIS), respectivamente. La desorción de los metabolitos aromáticos se realizó en modo venteo de disolvente con el siguiente programa de calentamiento: desde 50 a 250 °C a 300 °C/min, con un tiempo de retención final de 3 min. A continuación, los analitos se criofocaron en el inyector (CIS) enfriado a 12 °C y se desorbieron sucesivamente desde 12 °C hasta 250 a 12 °C/s, con un tiempo de espera final de 3 min. La temperatura de la línea de transferencia entre las dos unidades se mantuvo constante a 280 °C.

La identificación de los metabolitos volátiles se realizó por cromatografía de gases y espectrometría de masas con un sistema GC Agilent 7890 acoplado a un espectrómetro de masas cuadrupolo Agilent 5975C (Santa Clara, EE.UU.). Se utilizó una columna capilar HP-MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m de espesor, Agilent) con una relación de división de flujo 1:30. El gas portador fue He, a una presión inicial de 7.5 psi durante 2 min, aumentado a 38.6 psi a 1.36 psi/min manteniéndola durante 5 min. El programa de temperatura del horno de la columna fue: temperatura inicial 40 °C durante 2 min, luego se elevó hasta 250 °C a 15 °C/min manteniéndola durante 5 min. La interfase se estableció a 280 °C y el modo de ionización fue impacto electrónico (70 eV). La

identificación se realizó utilizando la biblioteca espectral Willey 7N y se confirmaron mediante la coincidencia de los tiempos de retención de compuestos patrón. Para la cuantificación se emplearon rectas patrón obtenidas con el mismo método por Moyano *et al.* (2019).

10. ANÁLISIS SENSORIAL

Para determinar la aceptación o rechazo de los vinos cubanos estudiados, se llevó a cabo una prueba de aceptación y evaluación del aroma y sabor; utilizando el método de escalas, de acuerdo con la norma UNE-ISO 4121: 2006 (Análisis Sensorial: Pautas para el uso de escalas de respuesta cuantitativa). Los criterios utilizados para el análisis de los vinos se dividieron en 3 fases: fase visual, fase olfativa y fase gustativa. El panel de catadores que llevo a cabo el análisis sensorial estuvo compuesto por 16 catadores, siete de ellos expertos, especializados en cata de vinos, miembros del Departamento de Química Agrícola, Edafología y Microbiología de la Universidad de Córdoba.

Antes de realizar las pruebas, se entregó la ficha de cata y se expuso el problema a resolver. El estudio se realizó en una sala termostatzada a 20 °C, utilizando catavinos aprobados según la norma ISO 87022: 1992. Durante la prueba, los catavinos estaban perfectamente marcados y cubiertos para evitar la pérdida de las propiedades organolépticas de los vinos. Las pruebas se realizaron a media mañana, fuera del horario de comidas. Las muestras se almacenaron a 20 °C hasta el momento de su análisis.

11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis estadísticos se hicieron con el software Statgraphics Computer Package v. 5.0 de Statistical Graphics Corp. Se realizaron análisis de varianza con un nivel de confianza del 95.0%; además, se calcularon los grupos homogéneos para establecer diferencias significativas entre muestras. También se realizaron análisis de componentes principales.

12. REFERENCIAS

- Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. (4th ed.). *Allured Publishing Corporation*.
- Alen-Ruiz, F., Garcia-Falcon, M. S., Perez-Lamela, M. C., Martinez-Carballo, E., & Simal-Gandara, J. (2009). Influence of major polyphenols on antioxidant activity in Mencia and Brancellao red wines. *Food Chemistry*, *113*, 53–60.
- Boido, E. D., Lloret, A., Medina, K., Farina, L., Carrau, F., Versini, G., & Dellacassa, E. (2003). Aroma composition of *Vitis vinifera* Cv. Tannat : the typical red wine from Uruguay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 5408–5413.
- Boido, E., Fariña, L., Carrau, F., Dellacassa, E., & Cozzolino, D. (2013). Characterization of glycosylated aroma compounds in Tannat grapes and feasibility of the near infrared spectroscopy application for their prediction. *Food Analytical Methods*, *6*, 100-111.
- Gómez-Alonso, S., Hermosin-Gutierrez, I., & García-Romero, E. (2007). Simultaneous HPLC analysis of biogenic amines, amino acids, and ammonium ion as aminoenone derivatives in wine and beer samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*, 608–613.
- McLafferty, F. W., & Stauffer, D. B. (1991). *The Wiley/NBS Registry of Mass Spectral Data*. (5th ed.).
- Moyano, L., Serratos, M., Marquez, A., & Zea, L. (2019). Optimization and validation of a DHS-TD-GC-MS method to wineomics studies. *Talanta*, *192*, 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.09.032>
- OIV (2008). Compendium of international methods of wine and must analysis. Ed. *International Organisation of Vine and Wine*, Paris (France). <https://www.oiv.int/fr/organisation-internationale-de-la-vigne-et-du-vin>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, *26*, 1231–1237.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, *299*, 152–178.

**CAPÍTULO III.
CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA DE VINOS
CUBANOS**

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de fermentación es una de las tecnologías más antiguas usadas por el ser humano y actualmente se considera un proceso biotecnológico emergente (Moreno-Arribas & Polo, 2005). En este sentido, en las últimas dos décadas, la producción mundial y la demanda de frutas tropicales ha crecido debido a que los consumidores se sienten atraídos por los sabores exóticos y los beneficios potenciales para la salud que estas frutas poseen. La comercialización de estas frutas está en su máximo esplendor histórico (FAO, 2020) y debido a la generación de excedentes de producción y a la obtención de frutos demasiado maduros, en muchas partes del mundo se utilizan frutos distintos de la uva para la producción de vino, entre ellos destacan frambuesa, cereza, fresa, papaya, plátano, sandía, mango, guayaba, kiwi, carambola, manzana, ciruela, melocotón, albaricoque silvestre, etc (Duarte *et al.*, 2010; Ogodo *et al.*, 2015, 2018; Sevdá & Rodríguez, 2011; Vidya & Neela, 2004). Otra materia prima usada ampliamente para la obtención de bebidas fermentadas son los cereales, en Asia es muy común el uso de arroz siendo el vino de arroz una bebida muy popular elaborada desde hace más de 5000 años y, siendo utilizado en la medicina tradicional por sus efectos saludables. Durante la elaboración del vino de arroz, el almidón se hidroliza mediante el uso de un moho denominado koji, en concreto *Aspergillus oryzae*, dando glucosa que posteriormente es transformada en etanol por las levaduras (Koda *et al.*, 2012; Wu, *et al.*, 2015a, 2015b; Xu *et al.*, 2015).

Durante mucho tiempo, en Cuba se han elaborado bebidas fermentadas artesanalmente a partir de una amplia variedad de materias primas como piña, papaya, guayaba, tamarindo, naranja agria, calabaza, uva, maíz y arroz, entre otras. En los últimos años, y principalmente debido a la creación del “National Coordinator of Wine Clubs of Cuba” (NCWCC), Cuba se ha convertido en uno de los países que produce vinos procedentes de una mayor variedad de materias primas alcanzando un gran interés internacional. Aunque el número de publicaciones relativos a los vinos de frutas y de arroz ha aumentado en los últimos años (Chay *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020; Rupasinghe *et al.*, 2017; Shen *et al.*, 2013; Velić *et al.*, 2018; Wu, *et al.*, 2015a, 2015b; Zhong *et al.*, 2020), aún no se ha realizado ninguna investigación que evalúa los compuestos característicos de estos vinos cubanos elaborados a partir de diferentes frutas y cereales como el arroz.

Esto plantea un desafío para los investigadores que deben determinar los parámetros químico-físicos de calidad de los vinos elaborados a partir de frutas tropicales y cereales, con particular atención a los atributos de olor, color y sabor de estas bebidas. Las determinaciones generales o parámetros de control son comúnmente utilizadas en bodega para controlar tanto la calidad de la materia prima que llega a la bodega como el correcto desarrollo de la fermentación y el proceso de crianza de los vinos. Generalmente se determinan el grado alcohólico, pH, acidez titulable, acidez volátil y medidas espectrofotométricas a diferentes longitudes de onda: a 280 nm como medida del índice de polifenoles totales, y a 420 nm y 520 nm para determinar la contribución al color de compuestos amarillo-pardos y rojos, respectivamente.

Por otro lado, es importante señalar que, en contraste con los vinos de otros países reconocidos mundialmente, los vinos cubanos presentan generalmente mayores niveles

de azúcar residual y un menor contenido de alcohol. Además, tradicionalmente y debido a la alta aceptación nacional, se elaboran a mayor escala los vinos dulces o semidulces, respecto a la media internacional que, generalmente, comercializa vinos secos con un mayor contenido de alcohol.

2. DETERMINACIONES GENERALES

El pH de los vinos es de gran importancia dado que un pH adecuado asegura la estabilidad del vino tanto en lo que respecta a la intensidad de color, cuerpo como a los procesos de oxidación (OIV, 2008). Se ha demostrado que un rango de pH comprendido entre 3 y 4 unidades contribuye a crear un medio favorable para la actividad de las levaduras y al mismo tiempo, protege al vino del crecimiento de otros microorganismos (Arranz, 2006). Los resultados reportados en la literatura clasifican el rango de pH óptimo para los vinos de uva entre $3.0 \leq \text{pH} \leq 3.3$ (para los vinos blancos) y entre $3.3 \leq \text{pH} \leq 3.6$ (para los vinos tintos). Para los vinos elaborados con frutas tropicales Gavimath *et al.* (2012) indican que el rango de pH óptimo para este tipo de vinos se sitúa entre 3 y 5, dependiendo del tipo de fruta y del proceso de vinificación. Sin embargo, existen notables excepciones en función de la variedad de fruta, clima, región o incluso prácticas de viticultura y de enología que definen el estilo del vino (Arranz, 2006; OIV, 2008).

En la Figura 3.1 y en la Tabla A1 se muestran los valores de pH obtenidos en los vinos estudiados y, como se puede observar, estos valores oscilaron entre 3.10 - 3.61 (vinos de uva, G), entre 3.35 - 3.86 (vinos de frutas tropicales, TF) y entre 3.30 - 3.70 (vinos de arroz, R). Todos ellos presentan valores óptimos para mantener la estabilidad del vino y evitar que se produzcan reacciones oxidativas y de pardeamiento. Además, los valores son similares a los señalados por diversos autores en vinos elaborados con uvas (Plavsa *et al.*, 2021; Ruiz *et al.*, 2014) y frutas tropicales (Gavimath *et al.*, 2012; Páramo & Peck, 2006).

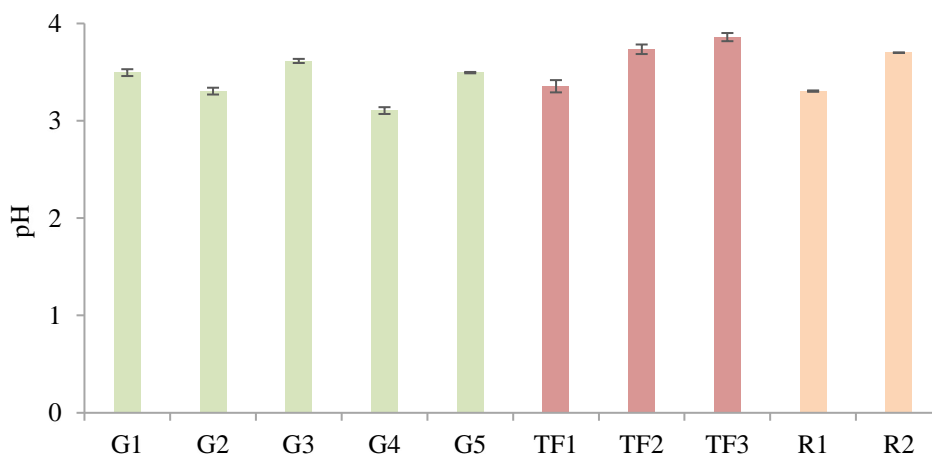


Figura 3.1. Valores de pH de los vinos cubanos elaborados con diferentes materias primas.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Sin embargo, en los vinos de arroz estudiados, los valores de pH fueron más bajos que los reportados en los vinos de arroz chinos por Yu *et al.* (2006), Liu *et al.*, (2007) y Chen & Xu (2013), oscilando entre 4.0 y 4.5. En este tipo de vinos, los valores de pH tienen una gran influencia en la actividad de las enzimas y en la descomposición de algunos nutrientes (Wei, 2005). Además del pH, la medida de la acidez total y volátil de un vino son parámetros importantes de control de la calidad de un vino. La acidez total, incluye el conjunto de ácidos orgánicos que se encuentran en ellos, estos provienen, por un lado, de la materia prima, y, por otro lado, del proceso de fermentación. Estos ácidos orgánicos influyen en el aspecto sensorial de los vinos, se conoce que una disminución de acidez produce vinos sin brillo, pocos aromas y aspecto gustativo que se suele definir como plano. Por otro lado, también afecta al estado higiénico, ya que una acidez baja lo hace inestable desde el punto de vista microbiológico (Flanzy, 2003). Según algunos autores dependiendo del ácido predominante en el vino, se obtendrán diferentes niveles de acidez titulable y sabores característicos de los vinos; si predomina el ácido tartárico, el sabor será metálico, si predomina el málico, sabor verde y si predomina el cítrico será un sabor acidulado. Otros ácidos presentes en el vino son el ácido acético y el láctico; los cuales aportan sabor agrio. Mientras que el succínico, además de aportar un sabor entre amargo y salado, aporta viscosidad (OIV, 2008; Páramo & Peck, 2006; Zoecklein *et al.*, 2001).

La acidez total de los vinos cubanos estudiados (Figura 3.2 y Tabla A1) osciló en un rango comprendido entre 11.0 (G3) y 20.0 meq/l (G1) para los vinos de uva, entre 9.45 (TF3) y 14.3 meq/L (TF1) para los vinos elaborados con frutas tropicales y entre 13.4 y 16.4 meq/L para los vinos de arroz. Como puede observarse, el valor más alto lo presentó el vino G1 (uvas Aramón y Cimarrona) mientras que por el contrario el valor más bajo fue el del vino TF3 (frutas tropicales y uvas Aramón y Cimarrona y). El resto de los vinos mostró valores intermedios, presentando valores de acidez similares (14 meq/L), los vinos G4, G5, TF1 y R1 sin que este hecho esté relacionado con la materia prima ni con el proceso de vinificación de cada vino en particular.

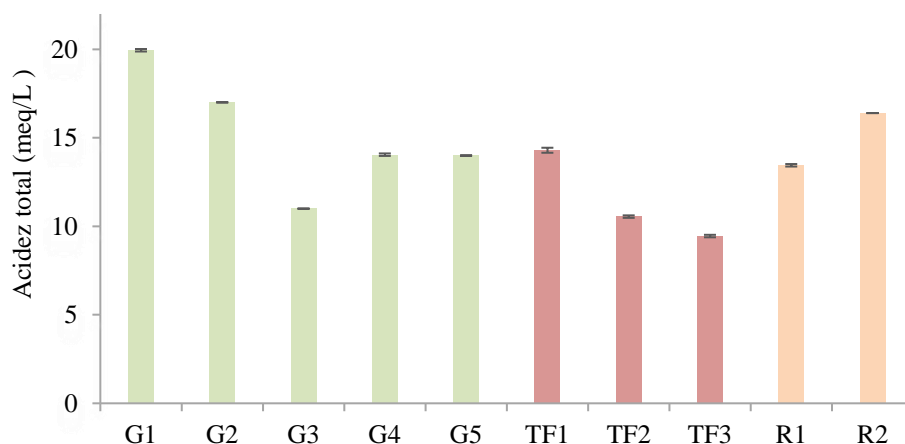


Figura 3.2. Acidez total (meq/L) de los vinos cubanos.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

La acidez volátil, está constituida por los ácidos orgánicos de cadena corta (acético, fórmico, propiónico y butírico) presentes en estado libre o en forma de sal. El anhídrido sulfuroso libre y el combinado, presentes normalmente en los vinos, así como el ácido sórbico, presente eventualmente introducen errores por exceso en los resultados finales.

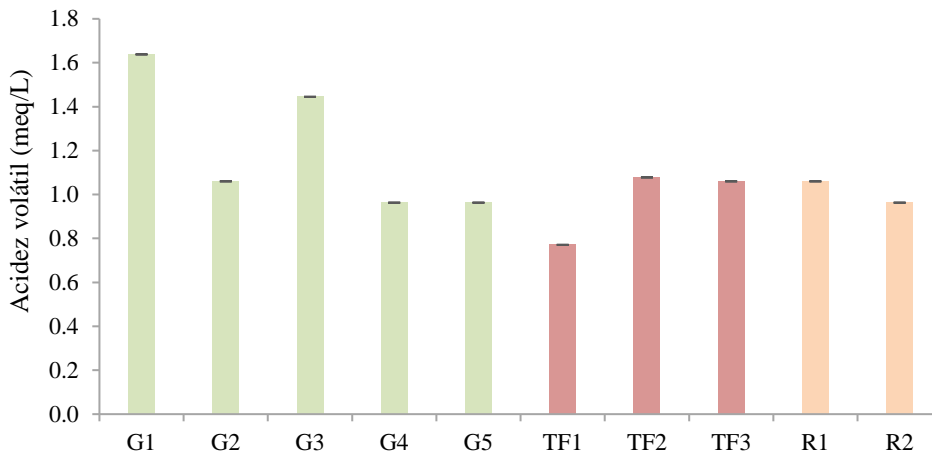


Figura 3.3. Acidez volátil (meq/L) de los vinos cubanos.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Como puede observarse en la Figura 3.3 y en la Tabla A1, la mayoría de los vinos presentaron valores próximos a 1 meq/L, independientemente de la materia prima utilizada. Los vinos G1 y G3 alcanzaron valores ligeramente más elevados, 1.63 y 1.44 meq/L, respectivamente, los cuales se alejan de los valores de de calidad establecidos para la acidez de un vino y que se encuentran entre 0.2-1 meq/L (OIV, 2016; Zoecklein *et al.*, 2001). Sin embargo, diferentes autores (Gavimath *et al.*, 2012; Mercadet *et al.*, 2001; OIV, 2008; Zoecklein *et al.*, 2001) han reportado que aunque los valores sean superiores a los indicados, no implica necesariamente la aparición de sensaciones organolépticas desagradables. Por el contrario, el vino TF1 presentó la acidez volátil más baja (0.771 meq/L) si bien dentro del rango de calidad señalado anteriormente.

Respecto al grado alcohólico de los vinos analizados, Figura 3.4 y Tabla A1, todos los vinos presentaron valores inferiores a 6.50% v/v, excepto los vinos G4 y TF3, que alcanzaron valores de 13.6% v/v y 9.80% v/v, respectivamente. En estos vinos las materias primas utilizadas fueron uvas pasificadas y frutas tropicales sobremaduras lo cual incrementa la concentración de los azúcares en los mostos y por tanto el contenido en alcohol al finalizar la fermentación alcohólica. El grado alcohólico en el vino de frutilla, fue ligeramente inferior a lo reportado por varios autores en estos tipos de vinos (Gavimath *et al.*, 2012; Matei, 2017; Rivard, 2009; Soufleros *et al.*, 2001). Sin embargo, autores como Páramo & Peck (2006) y Rivard (2009) señalan que es posible obtener valores inferiores de grado alcohólico en estos vinos al variar la masa de las frutas y la concentración de azúcar añadida por kg/masa de fruta fresca, durante el proceso de fermentación. Por el contrario, el vino TF2 alcanzó una graduación alcohólica superior a otros vinos de papaya elaborados con la variedad Sekaki

(Malaysia) y fermentado con mezcla de cultivos de *S. cerevisiae* y *W. saturnus* (Lee *et al.*, 2012).

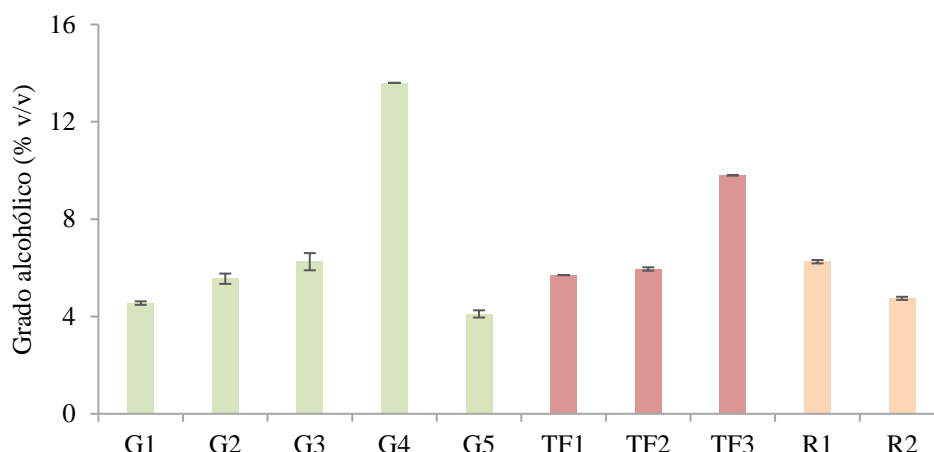


Figura 3.4. Grado alcohólico (% v/v) de los vinos cubanos.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Los vinos de arroz presentaron un grado alcohólico inferior a 6.5% v/v, alejado de los valores que se alcanzan generalmente en los vinos de arroz de origen japonés (7.1 - 9.3% v/v) y de origen chino (16 - 18 % v/v) (Ueki *et al.*, 1991; Yu *et al.*, 2006; Xiao *et al.*, 2015). Esta diferencia puede adjudicarse fundamentalmente, a las variedades de arroz utilizadas como materia prima y al proceso de elaboración de los vinos según las costumbres y procedimientos de cada país. En el caso particular de los vinos de arroz cubanos, el proceso fermentativo se inicia con el arroz con cáscara o semidescascarado; mientras que para la obtención del sake se utiliza una mezcla de arroz cocido al vapor, que propicia el aumento de la concentración de almidón, que posteriormente, influye en el proceso de obtención del grado alcohólico de los vinos (Gauntner, 2002). Por otro lado, los vinos de arroz chinos se producen, generalmente, a partir de arroz glutinoso mediante sacarificación, fermentación, filtración, clarificación y esterilización. Este último paso, posterior al proceso fermentativo, es un paso crítico durante la elaboración del vino, ya que puede prevenir en parte la contaminación por bacterias, hongos y otros microorganismos; lo que afecta la vida útil y seguridad de los vinos chinos (Yang *et al.*, 2019). Este proceso de vinificación de los vinos asiáticos permite la obtención de un mayor grado alcohólico.

3. DETERMINACIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS

La determinación del color de los vinos es de gran interés dado que es un parámetro importante en la calidad organoléptica de los mismos. En los vinos de uva, la literatura muestra que existe una relación directa entre el color de los vinos y aspectos como la edad, concentración tánica, estado de conservación, e incluso la posibilidad de intuir algunos defectos de la elaboración (Zamora, 2003). Sin embargo, en el caso de los vinos

de frutas y de arroz esta relación no es tan clara, debido a que parte del color que presentan estos vinos está afectado en gran medida por el procedimiento de elaboración. Por ejemplo, en el vino de papaya, se añaden virutas de eucalipto y en los vinos de arroz se realiza un torrefactado parcial o total del grano

En este estudio se ha determinado la densidad óptica (DO) a 420 nm y a 520 nm (Tabla A2). La DO a 420 nm informan acerca del color amarillo-marrón de los vinos y, además, es una medida eficaz para evaluar el pardeamiento de los vinos blancos. En la Figura 3.5 se muestran los valores obtenidos de la DO a 420 nm para los vinos estudiados. Como puede observarse, para los vinos de uva, los valores más altos (> 1.3 u.a.) se obtuvieron en los vinos a los que se le adicionó para su elaboración virutas de madera de eucalipto, G1 y G3. A continuación, los vinos elaborados con maceración pelicular G2 y G5 presentaron valores ligeramente inferiores a los anteriores y próximos a 1.0. Por último, el vino G4 obtenido a partir de uvas pasificadas presentó los valores de DO a 420 nm más bajos (0.461 u.a.). Sin embargo, estos valores son de la misma magnitud que los obtenidos en los vinos dulces Pedro Ximenez cuyo proceso de vinificación incluye la pasificación tradicional de las uvas al sol en las denominadas paseras (Ruiz *et al.*, 2014).

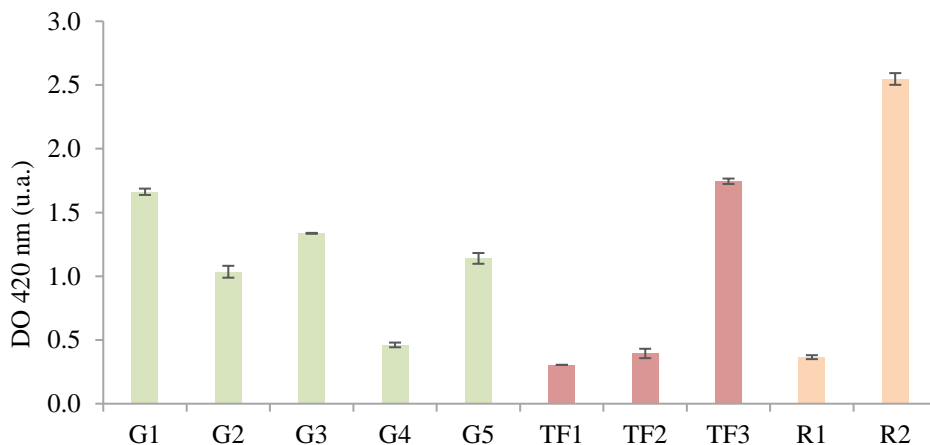


Figura 3.5. Valores de DO a 420 nm de los vinos cubanos.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Por otro lado, los vinos elaborados con frutilla (TF1) y papaya (TF2) presentaron valores de DO a 420 nm similares y próximos a 0.3 u.a., mientras que por el contrario el vino TF3, elaborado con mezcla de frutas tropicales y uvas, mostró un valor de 1.74 u.a., muy superior al de los vinos anteriores. Respecto a los vinos elaborados con arroz, los valores fueron muy dispares entre sí, el vino R1 presentó el valor más bajo, próximo a 0.3 u.a., por lo que su coloración amarillo-parda es similar a la de los vinos TF1 y TF2. Sin embargo, el vino R2, alcanzó el valor más alto (2.54 u.a.), muy superior al de los demás vinos lo cual está relacionado con el proceso de tostado previo al que se somete el arroz.

En la Figura 3.6 y Tabla A2, se muestran los valores de DO medidos a 520 nm y relacionados con las tonalidades rojas que presentan los vinos. Los vinos de uva mostraron valores que oscilaron entre 0.204 u.a. (G4) y 1.07 u.a. (G1), sin que existan similitudes con los procesos prefermentativos llevados a cabo en cada tipo de vino. Los vinos de frutilla y papaya presentaron valores inferiores a 0.160 u.a. mientras que, por el contrario, el vino elaborado con mezcla de frutas tropicales y de uvas alcanzó un valor superior de aproximadamente 4.5 veces a los anteriores. En el caso de los vinos de arroz, el comportamiento es similar para el observado en los valores de DO a 420 nm, siendo el valor obtenido por el vino R2 1.66 u.a., muy superior a todos los demás, y pudiendo ser debido al proceso de tostado previo, como se ha comentado anteriormente.

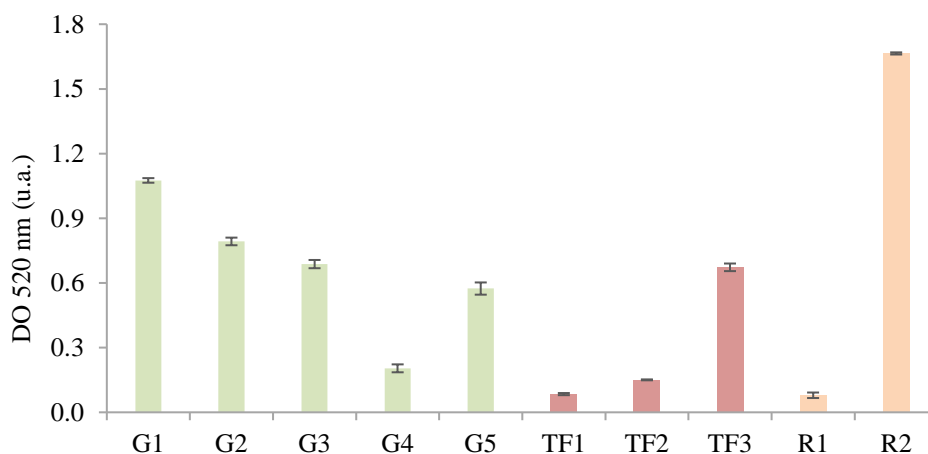


Figura 3.6. Valores de DO a 520 nm de los vinos cubanos.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

La variabilidad observada en las tonalidades rojizas y amarillo-parda están estrechamente relacionadas con los diferentes procesos fermentativos llevados a cabo en estos vinos, como son maceración pelicular, adición de virutas, pasificación de las frutas e incluso tostado del grano de arroz. (Matei, 2017; Páramo & Peck, 2006; Yang *et al.*, 2019).

4. ANÁLISIS SENSORIAL

Actualmente, la evaluación sensorial de los alimentos, en particular de los vinos, es un pilar fundamental para el diseño y desarrollo de nuevos productos alimenticios. En este sentido, el poder medir mediante paneles de cata diversos atributos que nos permitan conocer el grado de satisfacción de un determinado vino, logra anticipar la aceptabilidad que éste tendrá en el mercado. Además, según Ratti (2011) el análisis sensorial de los vinos posibilita la evaluación de diferentes atributos de forma individualizada y/o global, así como apreciar sus características positivas o negativas. Con ello, no solo se realiza una mera evaluación del vino, sino que también permite un

juicio técnico, no reemplazable, si es efectuado por un catador experto que tenga conocimiento de las conexiones entre constituyentes del vino y las sensaciones que origina.

A fin de evaluar la mayor o menor aceptación por los consumidores de los vinos cubanos objeto de este estudio, se realizó un análisis sensorial que incluía tres fases bien diferenciadas: fase visual, fase olfativa y fase gustativa.

Previo al análisis sensorial un panel de expertos catadores formado por 3 jueces indicaron la conveniencia de agrupar los vinos en dos grupos según el color de estos e independientemente de la materia prima empleada en la elaboración. El primer grupo incluía los vinos de uva G1, G2, G3 y el vino de arroz R2, y fue nombrado como “vinos rojos”, mientras que en el segundo grupo se incluyeron los vinos de uva G4 y G5, los vinos de frutas tropicales (TF1, TF2 y TF3) y el vino de arroz R1, denominándose “vinos amarillos”. A continuación, se muestran los resultados del análisis sensorial de cada grupo de vinos y para cada una de las fases.

4.1. FASE VISUAL

Una de las características principales en la fase visual de un vino es su color; el cual funciona como indicador de otros aspectos relacionados con el aroma, sabor, edad, concentración tánica, estado de conservación, e incluso permite intuir algunos posibles defectos de su elaboración o conservación (Zamora, 2003). Esta propiedad organoléptica, varía según el tipo de vino, materia prima empleada, así como del proceso de vinificación.

Otros aspectos que considerar y definidos en la norma ISO 5492:2008, son la limpidez (ausencia de partículas en suspensión); transparencia (propiedad que determina el paso de luz y permite distinguir imágenes a su través); brillo (aparición brillante resultante de la tendencia de una superficie a reflejar la energía lumínica en un ángulo más que en otros); e intensidad de color (dimensión de un color que describe su pureza) (Tabla A3)

La Figura 3.7 presenta las valoraciones obtenidas por los catadores para cada uno de los colores evaluados (granate oscuro, oro oscuro, ladrillo). Se puede observar que los vinos G1 y R2 fueron puntuados como granate oscuro por un 60 y 80% de los catadores respectivamente, mientras que en los vinos G2 y G3 un 70% de los catadores los clasificaron como ladrillo y oro oscuro, respectivamente. Los vinos G1, G2 y G3 están elaborados con uvas de variedades consideradas tintas, sin proceso de crianza en madera, sin embargo, no presentan colores característicos de vinos tintos jóvenes (tonalidades rojas intensas con matices morados). Estos vinos mostraron colores que evolucionan hacia el pardo, como puede ser el color ladrillo, debido a la adición de virutas y/o maceración pelicular a la que son sometidos. Por otro lado, el color granate oscuro que presenta el vino de arroz cubano está relacionado con el proceso previo de torrefactado al que se somete el arroz antes de la vinificación. Además, está en concordancia con los colores observados en vinos de arroz chino; los cuales, según el proceso de elaboración, pueden abarcar colores desde el amarillo al rojo intenso (Yang *et al.*, 2019).

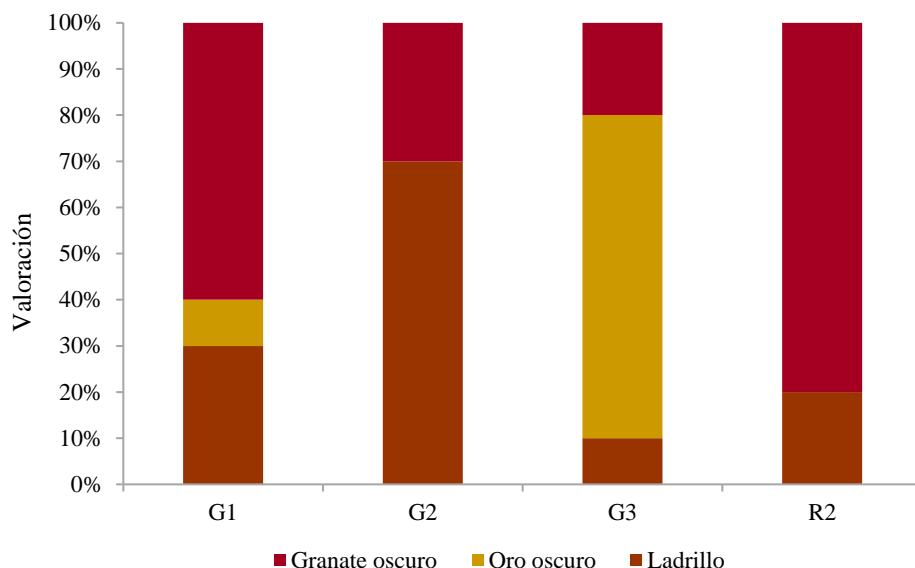


Figura 3.7. Valoraciones del color (%) obtenidas durante la fase visual del análisis sensorial de los “vinos rojos”.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

A continuación, se muestra el diagrama poligonal (Figura 3.8) que incluye la valoración media de los atributos limpidez, transparencia, brillo e intensidad de los “vinos rojos” (Tabla A4). Las puntuaciones se establecieron siendo 1 el valor más bajo y 3 el valor más alto de cada atributo. Como puede observarse, en cuanto a la limpidez, excepto el vino G1, los restantes obtuvieron una puntuación superior a 1.5 pudiendo ser considerados vinos con una limpieza adecuada. Por otro lado, todos los vinos de uva obtuvieron puntuaciones similares y próximas a 2 en intensidad; lo cual puede estar relacionado con el proceso de difusión de pigmentos desde el hollejo al mosto durante el proceso de prensado. En este atributo destacó el vino R2 con una puntuación próxima a 3; lo cual era de esperar ya que como se ha comentado anteriormente este vino está elaborado con arroz torrefactado. Por el contrario, este vino presentó la menor puntuación en transparencia y brillo (1.2 en ambos casos), inferior al resto de vinos. El resto de “vinos rojos” presentaron puntuaciones en transparencia superiores a 1.5, y en brillo iguales a 2, siendo G2 el mejor valorado en conjunto.

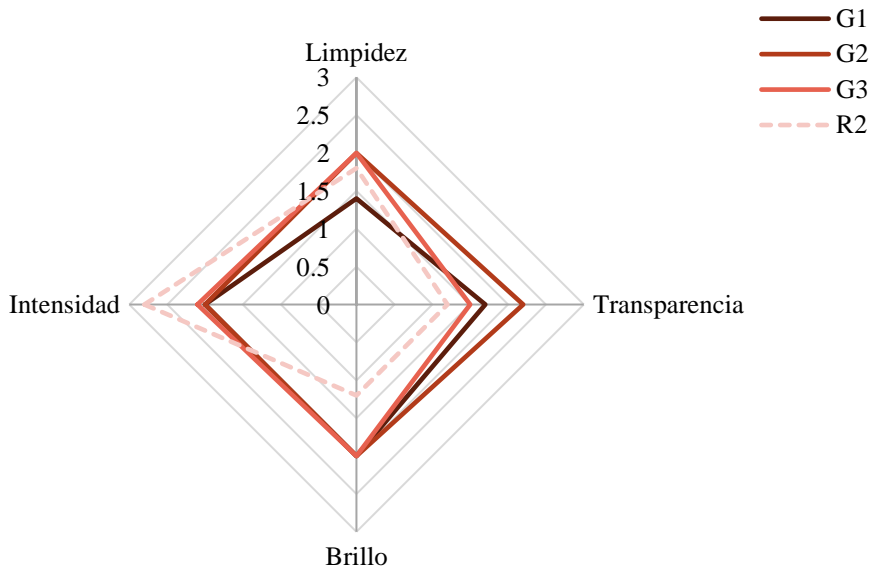


Figura 3.8. Puntuaciones obtenidas de los atributos visuales evaluados durante el análisis sensorial de los “vinos rojos”.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* LR2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

La Figura 3.9 muestra la valoración de color de los denominados “vinos amarillos” (Tabla A5). Como puede observarse, los dos vinos de uva fueron definidos como de color ámbar por la mayoría de los catadores (más del 60%). Sin embargo, para el resto de los vinos no se pudo definir claramente el color, en concreto TF1, TF2 y R1 fueron descritos con un color entre dorado y oro viejo y TF3 entre ámbar y oro viejo, ya que las valoraciones fueron próximas al 50% para todo ellos.

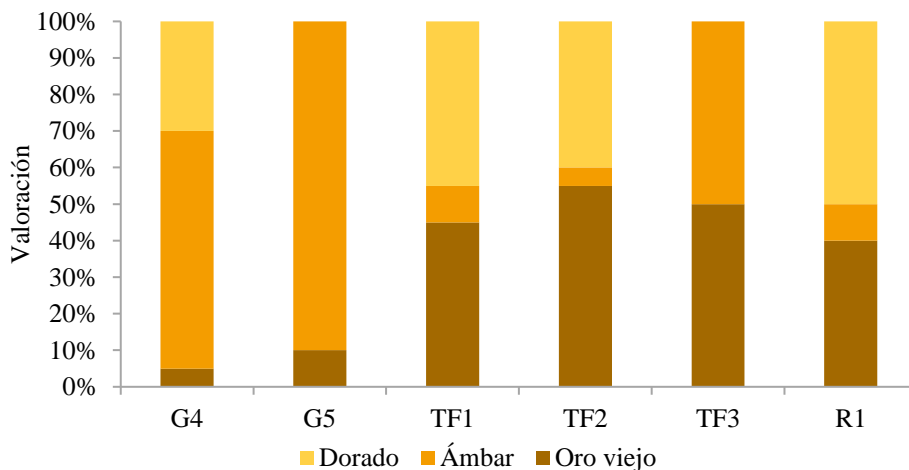


Figura 3.9. Valoraciones del color (%) obtenidas durante la fase visual del análisis sensorial de los “vinos amarillos”.

G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior;

Las puntuaciones de los atributos de la fase visual se muestran en la Figura 3.10 (Tabla A6). Se observa que el vino G5 mostró las mejores características visuales, ya que las puntuaciones obtenidas para todos los atributos fueron significativamente más altas que las del resto de “vinos amarillos”. Por otro lado, en los vinos de uva y frutas tropicales, no se apreciaron diferencias acusadas respecto de limpieza y transparencia siendo puntuados todos ellos de forma positiva (valores superiores a 2). En cuanto a la intensidad, además del vino G5, destacan los vinos G4 y TF3 con puntuaciones próximas a 2.5, siendo este último vino el más brillante. Por el contrario, el vino G4 presentó el valor más bajo de este atributo junto con R1 (1.5).

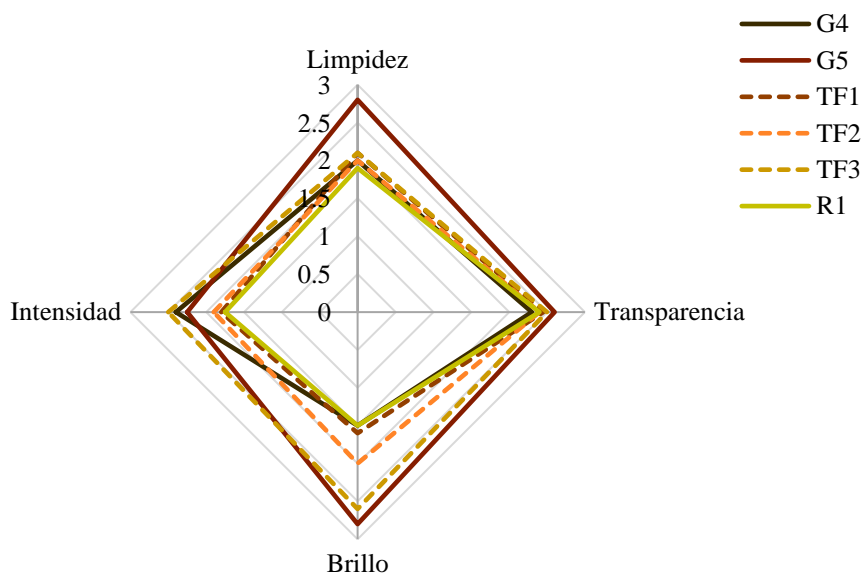


Figura 3.10. Puntuaciones obtenidas de los atributos visuales evaluados durante el análisis sensorial de los “vinos amarillos”.

G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior.

4.2. FASE OLFATIVA

En la fase olfativa del análisis sensorial de un vino participa el sentido del olfato, el cual reconoce y clasifica los metabolitos volátiles que se difunden en el aire, siempre que sean solubles en la mucosidad olfativa y estén dotados de un olor o descriptor aromático. Las moléculas odoríferas actúan sobre los cilios olfativos de las neuronas si bien, actualmente existen diferentes teorías al respecto ya que no se conoce con exactitud el mecanismo de la estimulación.

Durante la fase olfativa se evaluó, en primer lugar, la aceptabilidad de los vinos mediante el empleo de una escala de respuesta verbal (desagradable-agradable-muy agradable) y, en segundo lugar, la presencia de los términos odorantes: frutal, especiado, floral caramelizado, ahumado, vegetal y balsámico según la norma UNE-ISO 4121:2006.

La Figura 3.11 muestra los resultados obtenidos acerca de la aceptabilidad de los “vinos rojos” estudiados (Tabla A7). Como puede apreciarse, todos los vinos fueron bien aceptados, evaluados entre agradable y muy agradable por más del 70% de los catadores. Los vinos mejor valorados fueron los vinos de uva G1 y G3, ambos elaborados a partir uva botritizada y con adición de virutas de madera de mangle. Por el contrario, los vinos G2 (sin uva botritizada y sin virutas) y R2 fueron evaluados negativamente por el 20% y el 30% de los catadores, respectivamente.

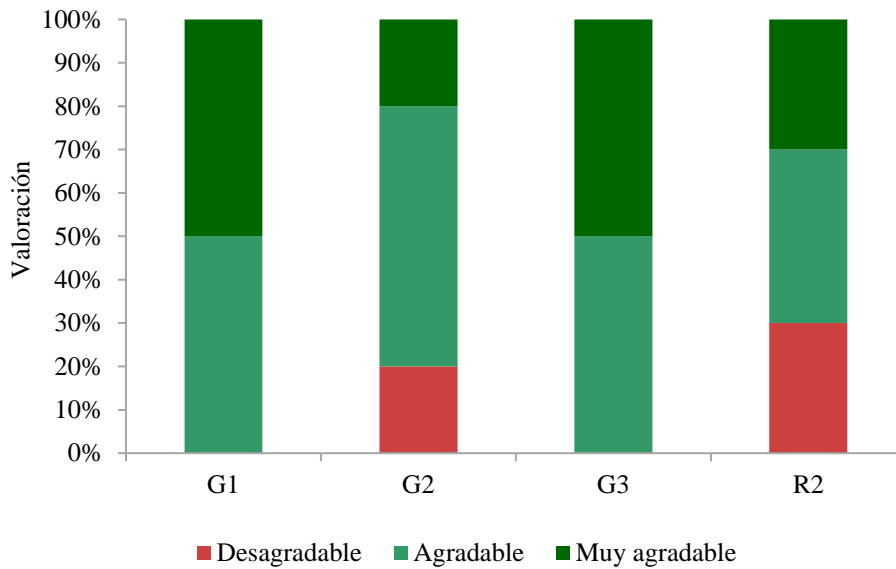


Figura 3.11. Valoraciones de la aceptabilidad (%) obtenidas durante la fase olfativa del análisis sensorial de los “vinos rojos”.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

El perfil aromático de los “vinos rojos” obtenido del análisis sensorial se representa mediante un diagrama poligonal en la Figura 3.12 (Tabla A8). El aroma de los vinos G1 y G3 fue descrito por los catadores con aromas mayoritariamente incluidos en el término odorante caramelizado, lo cual puede estar relacionado con la deshidratación previa de las uvas antes del proceso de vinificación. Sin embargo, en el vino G1 destacaron en un segundo lugar los aromas florales y balsámicos mientras que en el vino G3 lo hicieron los aromas especiados. Además, en ambos vinos las notas ahumadas fueron las menos destacadas. Respecto al perfil aromático del vino G2, fue descrito principalmente como frutal y vegetal, lo cual se atribuye a que este vino fue elaborado con uva fresca, sin deshidratación. A continuación, los catadores destacaron la presencia de aromas ahumados y especiados. Por último, el vino R2 fue descrito como un vino con notas mayoritariamente especiadas, ahumadas y balsámicas, siendo minoritarias las notas vegetales, florales y frutales como era de esperar debido a que el arroz empleado en este vino pasa por un proceso de torrefactado.

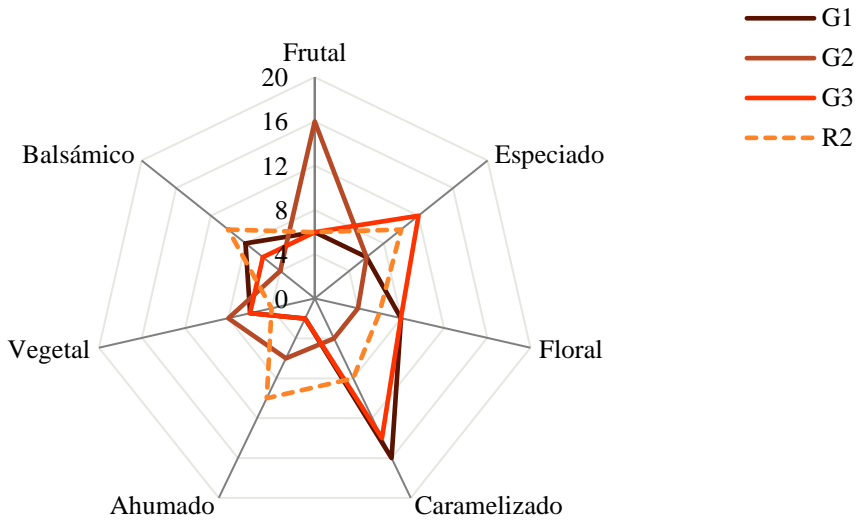


Figura 3.12. Perfil aromático de los “vinos rojos”.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

La Figura 3.13 muestra el porcentaje de aceptabilidad de los “vinos amarillos” (Tabla A9). En general, fueron considerados por los catadores entre agradables y muy agradables excepto TF1, TF2 y R1 y que fueron considerados como desagradables por un 10, 30 y 20%, respectivamente. De todos los vinos estudiados, el mejor evaluado fue el TF3 con el mayor porcentaje de valoración muy agradable (55%). Este vino estaba elaborado con mezcla de frutas pasificadas cuyo dulzor hace que generalmente tenga buena aceptación.

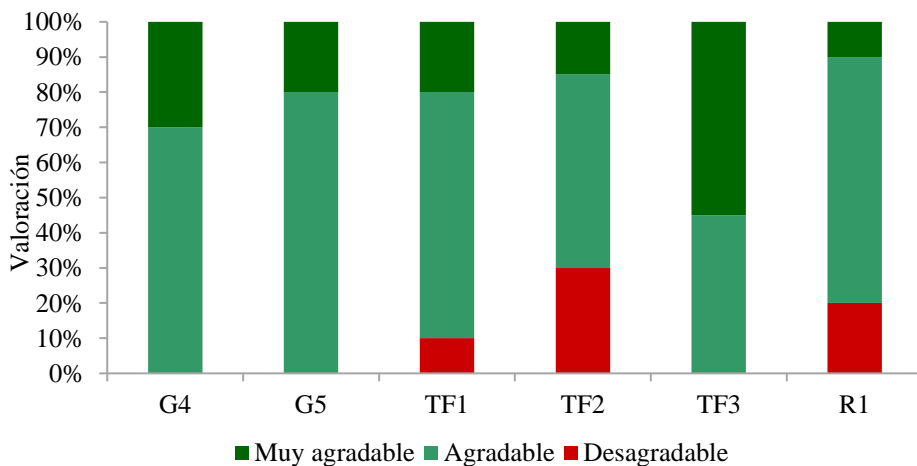


Figura 3.13. Valoraciones de la aceptabilidad (%) obtenidas durante la fase olfativa del análisis sensorial de los “vinos amarillos”.

G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior.

La Figura 3.14 muestra el diagrama poligonal con el perfil aromático de los “vinos amarillos” (Tabla A10). Como puede observarse, los aromas balsámicos no fueron detectados en ninguno de estos vinos. Los vinos de uva y de arroz presentaron perfiles aromáticos muy diferentes. El vino G4 elaborado con uvas pasificadas fue descrito como un vino con notas principalmente incluidas en el término odorante caramelizado. Además, también presentó aromas frutales, florales y vegetales, si bien estos dos últimos en menor medida. El vino G5 presentó un perfil aromático equilibrado, destacando algunas notas especiadas. El aroma del vino de arroz R1 mostró notas aromáticas relacionadas con los términos odorantes frutal, vegetal y caramelizado, este último atributo puede estar relacionado con el proceso de malteado al que se somete el arroz durante el proceso de vinificación.

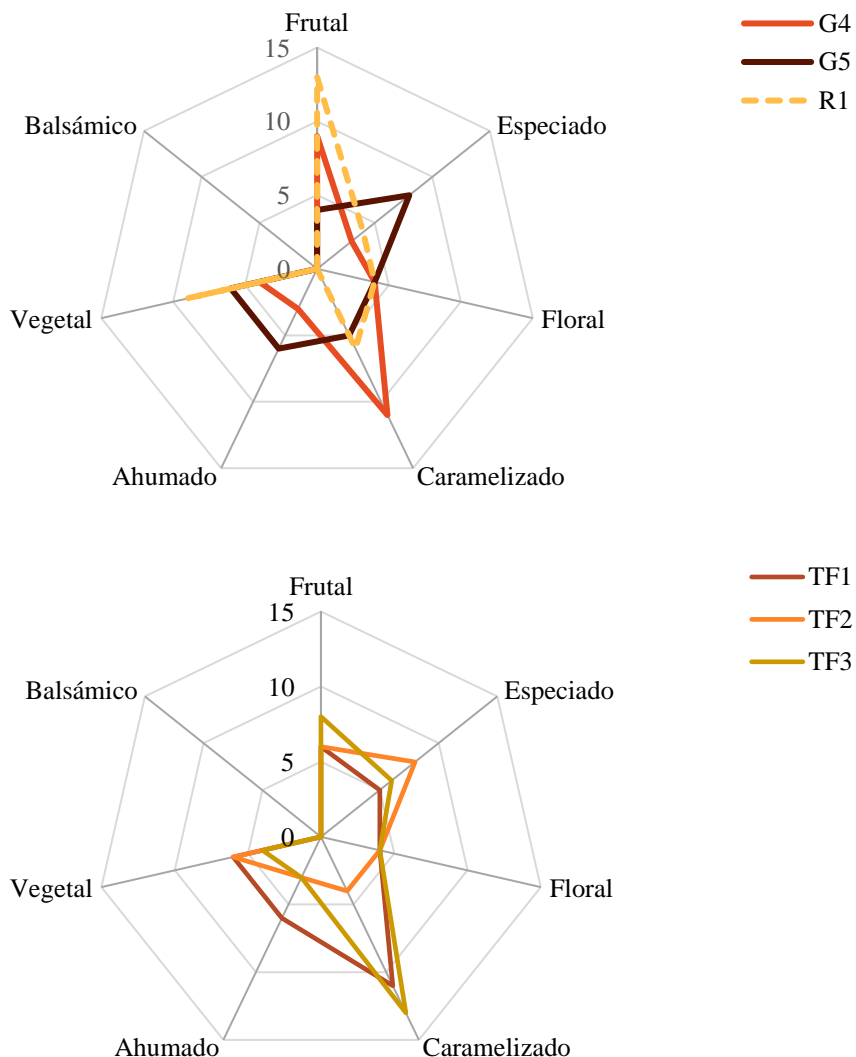


Figura 3.14. Perfil aromático de los “vinos amarillos”.

G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior.

En relación con los vinos de frutas, los vinos TF1 y TF3 destacaron por las notas caramelizadas. El primero de ellos es elaborado con frutilla, la cual se recolecta en un estado de madurez elevado para la elaboración de los vinos, mientras que el TF3 fue elaborado con frutas pasificadas, que les proporcionan estos aromas. Por último, el TF2 mostró un perfil equilibrado descrito como especiado, frutal y vegetal, principalmente.

4.3. FASE GUSTATIVA

La Figura 3.15 muestra las puntuaciones obtenidas para los atributos evaluados, impresión global, acidez, dulzor y persistencia, durante la fase gustativa del análisis sensorial de los “vinos rojos” (Tabla A11). Como puede observarse, los vinos de uva G2 y G3 fueron los mejor evaluados respecto a la impresión global y a la acidez, con puntuaciones superiores a 2 para el primer atributo y próximas a 2 para el segundo. Es importante señalar que la acidez es considerada un atributo importante en la evaluación sensorial de un vino ya que éste es una bebida ácida por naturaleza y, si la acidez es baja el vino será considerado defectuoso y definido como “vino plano”. En relación con los vinos G1 y R2 las puntuaciones referidas a la impresión global y a la acidez fueron adecuadas (alrededor de 1.5 para ambos vinos), aunque inferiores a los vinos anteriormente citados.

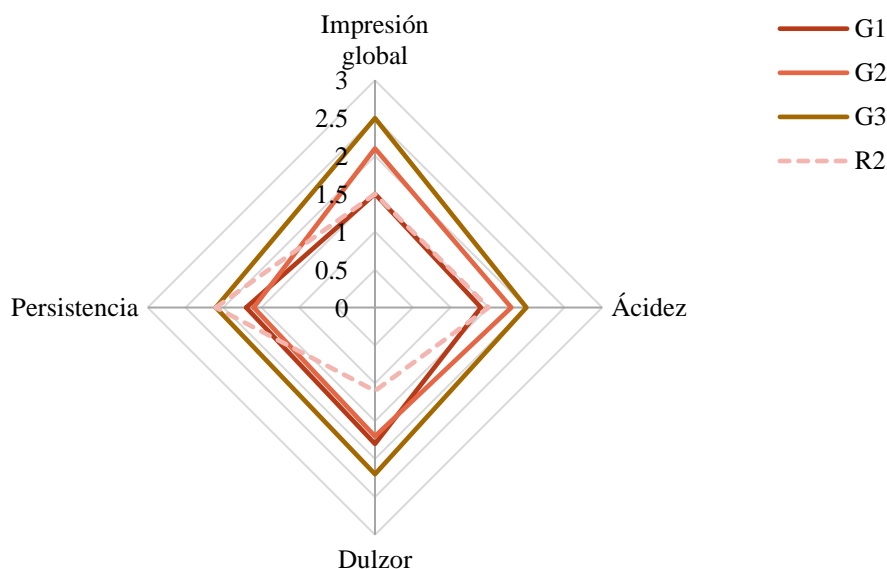


Figura 3.15. Puntuaciones obtenidas de los atributos gustativos evaluados durante el análisis sensorial de los “vinos rojos”.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Las puntuaciones alcanzadas por los vinos rojos en relación con el dulzor están íntimamente relacionadas con el tratamiento que se le da a la materia prima antes de la vinificación. Así, los vinos G1 y G3 elaborados con mosto procedente de uva botritizada presentaron las puntuaciones más altas (1.8 y 2.2 respectivamente), seguidos

del G2 que alcanzó una puntuación de 1.7. La diferencia observada en los vinos botritizados puede ser debido a que el vino G1 está elaborado con dos tipos de mostos, uno procedente de uva botritizada y el otro de uva madura, pero sin botritizar. Y para el vino G3 únicamente se empleó mosto procedente de uva fresca. Hay que señalar que el vino R2 fue el que presentó la puntuación más baja en dulzor ya que únicamente los azúcares residuales de la fermentación son los que aportan algo de este atributo a este “vino rojo”. Por último, en cuanto a la persistencia los vinos G3 y R2 presentaron la puntuación más alta (2.1), mientras que G1 y G2, aunque presentaron valores inferiores a los anteriores, su persistencia puede ser considerada adecuada.

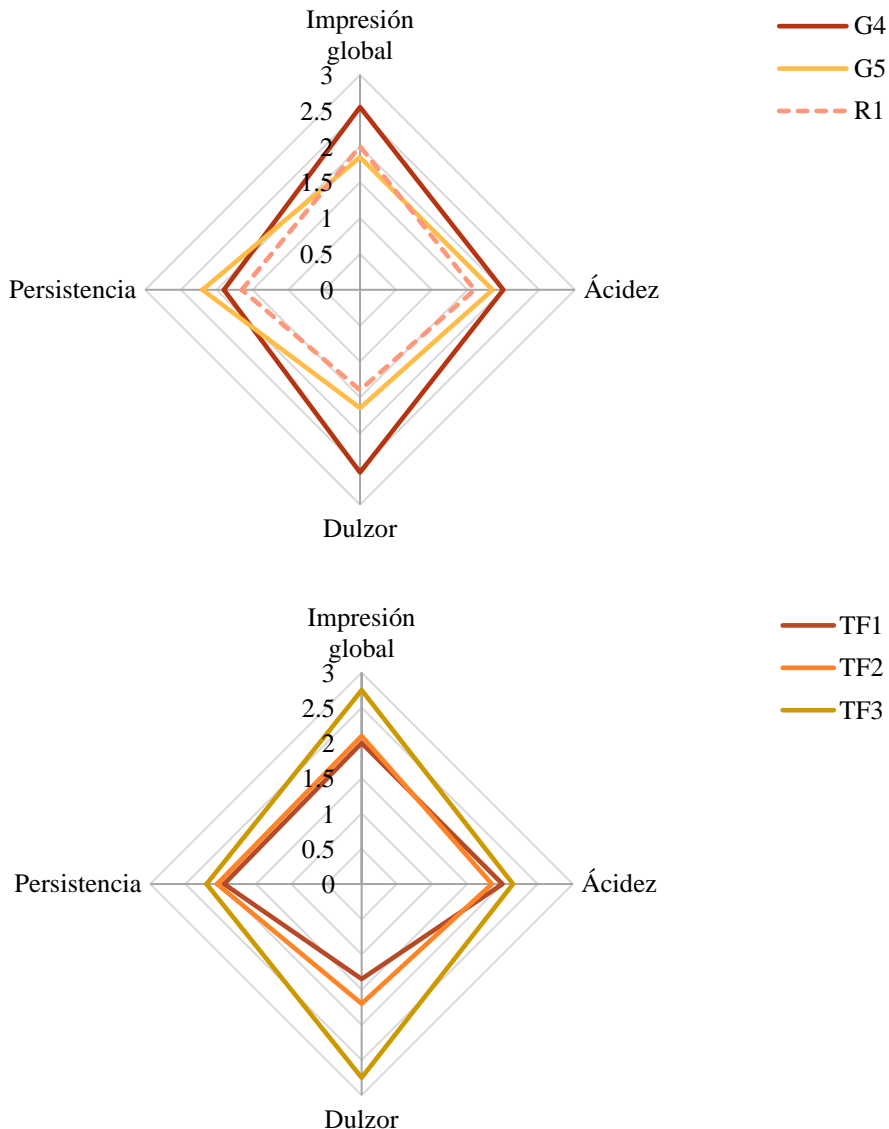


Figura 3.16. Puntuaciones obtenidas de los atributos gustativos evaluados durante el análisis sensorial de los “vinos amarillos”.

G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior.

En la Figura 3.16 se representan en dos diagramas poligonales los atributos gustativos evaluados para los “vinos amarillos” (Tabla A12). Como puede observarse, el vino G4 presentó unas puntuaciones muy levadas para todos los atributos evaluados, destacando su dulzor e impresión global, con valores superiores a 2.5 que se puede deber a que este vino procede de una mezcla de mostos de uva pasificada y botritizada. Los “vinos amarillos”, G5 y R1, presentaron puntuaciones similares para todos los atributos, siendo bien puntuados con valores superiores a 1.4. Además, la persistencia del vino de uva obtuvo una puntuación de 2.2, superior a la del vino de arroz.

En cuanto a los vinos de frutas tropicales destaca el vino TF3 con las mayores puntuaciones en todos los atributos (superiores a 2.2). De todos ellos, la impresión global y el dulzor alcanzaron puntuaciones de 2.75, lo cual está relacionado con el uso de frutas pasificadas en la elaboración de este vino. Por último, los vinos de papaya (TF2) y frutilla (TF1) presentaron puntuaciones similares en todos los atributos gustativos evaluados, excepto en el dulzor, donde el vino TF1 mostró valores inferiores ya que procede de mosto de frutilla en su estado óptimo de maduración, sin ningún proceso de secado. Por esta misma razón, la puntuación relativa a la acidez es ligeramente superior al del vino TF2.

5. CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre los vinos cubanos elaborados con diferentes materias primas, uvas, frutas tropicales y arroz permite obtener las siguientes conclusiones.

1. Todos los vinos presentaron un valor de pH dentro de los rangos de calidad necesarios para la estabilidad y conservación de estos. Los valores de acidez total y volátil, aunque dentro de los límites permitidos, presentaron mayor variabilidad relacionada principalmente con los procesos prefermentativos a los que son sometidos los distintos mostos.
2. Los vinos cubanos estudiados fueron en general de baja graduación alcohólica comparados con los vinos tradicionales de uvas procedentes de otras zonas vitivinícolas mundiales, excepto el vino elaborado con uvas Aramón y Cimarrona pasificadas que alcanzó niveles similares a los tradicionales.
3. Los vinos presentaron una gran variabilidad en los valores de DO tanto a 420 como 520 nm, esto es debido tanto a la diversidad de materias primas empleadas, como a los procesos de vinificación tan diferentes utilizados en la elaboración de dichos vinos cubanos, aunque es destacable que todos presentaron tonalidades pardas y rojizas intensas.
4. La fase visual del análisis sensorial mostró que todos los vinos presentaban unos atributos de limpidez, transparencia, brillo e intensidad óptimos, excepto el vino elaborado con arroz tostado que mostró baja transparencia y poco brillo.
5. La fase olfativa del análisis sensorial reveló, en primer lugar, una alta aceptabilidad de los vinos cubanos estudiados, siendo descritos mayoritariamente como agradables o muy agradables, excepto los vinos elaborados con papaya y con arroz tostado. En segundo lugar, los descriptores aromáticos principales que mejor

definieron el perfil aromático de estos vinos fueron caramelizado para los vinos G1, G3, G4, TF1 y TF3; frutal para los vinos G2 y R1 y especiado para G5, TF2 y R2.

6. La fase gustativa del análisis sensorial exhibió altas puntuaciones en la evaluación de la impresión global de los vinos. Además, todos fueron valorados positivamente por su acidez y persistencia. Sin embargo, en relación con el dulzor, los vinos de arroz y de frutilla fueron los únicos con puntuaciones bajas de este atributo, considerándose, por tanto, vinos más secos que los demás vinos estudiados.

6. REFERENCIAS

- Arranz, E. (2006). Selección de levaduras autóctonas para la elaboración de vinos tintos para bodegas y viñedos de Trujillo S.L. Tesis de Especialización. Ed. *Servicios de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid*. Madrid (España).
- Chay, C., Dizon, E., Hurtada, W., Elegado, F., Norng, C., & Raymundo, L. (2020). Total phenolic content and antioxidant activity of rice wine from waxy pigmented and non-pigmented rice varieties produced by traditional and multi-parallel fermentation. *Food Research*, 4, 199–206. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(1\).036](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(1).036)
- Chen, S., & Xu, Y. (2013). Effect of “wheat Qu” on the fermentation processes and volatile flavour-active compounds of Chinese rice wine (Huangjiu). *Journal of the Institute of Brewing*, 119, 71–77. <https://doi.org/10.1002/jib.59>
- Duarte, W. F., Dias, D. R., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., de Almeida e Silva, J. B., & Schwan, R. F. (2010). Characterization of different fruit wines made from cacao, cupuassu, gabirola, jaboticaba and umbu. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1564–1572. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.010>
- FAO. (2020). *Las principales frutas tropicales Análisis del mercado 2018*. Ed. FAO. Roma (Italy). <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA5692ES/>
- Flanzy, C. (2003). Enología: fundamentos científicos y tecnológicos. Flancy, C. (ed.), Ed. *AMV Ediciones y Mundi Prensa*, Madrid (España).
- Gauntner, J. (2002). The Sake Handbook. Ed. *Tuttle Publishing*, Vermont (USA). <https://doi.org/978-1-4629-0154-8>. 1
- Gavimath, C. C., Kalsekar, D. P., Raorane, C. J., Kulkarni, S. M., Gavade, B. G., Ravishankar, B. E., & Hooli, V. R. (2012). Comparative analysis of wine from different fruits. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 3, 810–813.
- Koda, M., Furihata, K., Wei, F., Miyakawa, T., & Tanokura, M. (2012). NMR-based metabolic profiling of rice wines by F2-selective total correlation spectra. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 4818–4825. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf3008647>
- Lee, P., Chong, I., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2012). Effects of sequentially

- inoculated *Williopsis saturnus* and *Saccharomyces cerevisiae* on volatile profiles of papaya wine. *Food Research International*, *45*, 177–183.
- Li, H., Jiang, D., Liu, W., Yang, Y., Zhang, Y., Jin, C., & Sun, S. (2020). Comparison of fermentation behaviors and properties of raspberry wines by spontaneous and controlled alcoholic fermentations. *Food Research International*, *128*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108801>
- Li, M., Yang, R., Zhang, H., Wang, S., Chen, D., & Lin, S. (2019). Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of *Tricholoma matsutake* Singer. *Food Chemistry*, *290*, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.124>
- Liu, F., He, Y., Wang, L., & Pan, H. (2007). Feasibility of the use of visible and near infrared spectroscopy to assess soluble solids content and pH of rice wines. *Journal of Food Engineering*, *83*, 430–435. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.035>
- Matei, F. (2017). Technical guide for fruit wine production. In: *Science and Tecnology of Fruit Wine Production*. Kosseva, M. R., Joshi, V.K. & Panesar, P.S. (eds). Ed. Elsevier, Amsterdam (Switzerland).
- Mercadet, J. R., Marquetti, A., Alvarez, M., Pérez, P., Echevarria, E., Hidalgo, E., Rodríguez, P., Romeu, B., Avila, D., Parada, L., Yero, P., Sotolongo, E., Martínez, H., Maresma, A., González, O. H., Hernández, A., & Paredes, L. (2001). Introducción de especies y procedencias en Cuba: resultados de la investigación y proyecciones. Ed. FAO, Roma (Italia). <http://www.fao.org/3/y2316s/y2316s05.htm>
- Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (2005). Winemaking biochemistry and microbiology: current knowledge and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *45*, 265–286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408690490478118>
- Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., Agwaranze, D. I., & Ezeonu, N. G. (2018). Production and evaluation of fruit wine from *Mangifera indica* (cv. Peter). *Applied Microbiology*, *4*, 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.4172/2471-9315.1000144>
- Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., Ugbogu, A. E., & Ezeonu, C. S. (2015). Production of mixed fruit (pawpaw, banana and watermelon) wine using *Saccharomyces cerevisiae* isolated from palm wine. *SpringerPlus*, *4*, 1–11.
- OIV (2008). Compendium of international métodos of wine and must analysis. Ed. *International Organisation of Vine and Wine*, Paris (France). <https://www.oiv.int/fr/organisation-internationale-de-la-vigne-et-du-vin>
- Páramo, L., & Peck, L. (2006). Determinación de parámetros a nivel de laboratorio para la producción de vinos a partir de frutas tropicales producidas en Nicaragua. *Revista Científica Nexo*, *19*, 101-107.
- Plavša, T., Jagatić, A., Lukić, I., Bubola, M., & Jeromel, A. (2021). Influence of different malolactic fermentation techniques on changes in chemical properties and volatile compounds of cv. Teran red wine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of*

Central European Agriculture, 22, 582–595.
<https://doi.org/10.5513/jcea01/22.3.3172>

- Ratti, R. (2011). *Cómo degustar los vinos. Manual del catador*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid (España).
- Rivard, D. (2009). The ultimate fruit winemarkers' guide: The complete reference manual for all fruit winemarkers. Ed. *Create Space*, Washington (USA).
- Ruiz, M., Moyano, L., & Zea, L. (2014). Changes in aroma profile of musts from grapes cv. Pedro Ximenez chamberdried at controlled conditions destined to the production of sweet Sherry wine. *LWT-Food Science and Technology*, 59, 560–565. <https://doi.org/doi:10.1016/j.lwt.2014.04.056>.
- Rupasinghe, H. P., Joshi, V., Smith, A., & Parmar, I. (2017). Chemistry of fruit wines. In: Science and Technology of Fruit Wine Production. Kosseva, M., Joshi, V. & Panesar, P. S. (eds.), Ed. *Academic Press*, Massachusetts (USA). <https://doi.org/DOI:10.1016/B978-0-12-800850-8.01001-2>
- Sevda, S. B., & Rodrigues, L. (2011). Fermentative behaviour of *Saccharomyces* strains during guava (*Psidium Guajava* L.) must fermentation and optimization of guava wine production. *Journal of Food Processing & Technology*, 2, 1–9 <https://doi.org/0.4172/2157-7110.1000118>
- Shen, S., Xia, L., Xiong, N., Liu, Z., & Sun, H. (2013). Determination of the geographic origin of rice by element fingerprints and correlation analyses with the soil of origin. *Analytical Methods*, 5, 6177–6185. <https://doi.org/10.1039/c3ay40700d>
- Soufleros, E., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakis, M., Mermelas, K., Boukouvalas, G., & Tsimitakis, E. (2001). Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition. *Food Chemistry*, 75, 487–500. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00207-2)
- Ueki, T., Teramoto, Y., Ohba, R., Ueda, S., & Yoshizawa, K. (1991). Application of aromatic red rice bran to rice wine brewing: Studies on red rice wine brewing (Part 2). *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 72, 31–35. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(91\)90142-4](https://doi.org/10.1016/0922-338X(91)90142-4)
- Velić, D., Klarić, D. A., Velić, N., Klarić, I., Tominac, V., & Mornar, A. (2018). Chemical constituents of fruit wines as descriptors of their nutritional, sensorial and health-related properties. In: *Descriptive Food Science*. Díaz, A. V. & García-Gimeno R. M. (eds.), Ed. *Intech Open*, London (UK). <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/intechopen.78796>
- Vidya, B., & Neela, B. (2004). Effects of different pectolase concentration and yeast strains on carambola wine quality in Trinidad, West Indies. *Fruits*, 59, 131–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/fruits:2004013>.
- Wei, T. Y. (2005). Investigation on pH change during the fermentation of yellow rice wine. *Liquor-Making Science & Technology*, 3, 78–79.
- Wu, Z., Xu, E., Long, J., Wang, F., Xu, X., Jin, Z., & Jiao, A. (2015a). Rapid measurement of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid content of Chinese

- rice wine by Fourier-transform near infrared spectroscopy. *Food Analytical Methods*, 8, 2541-2553. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12161-015-0144-4>
- Wu, Z., Xu, E., Long, J., Zhang, Y., Wang, F., Xu, X., Jin, Z., & Jiao, A. (2015b). Monitoring of fermentation process parameters of Chinese rice wine using attenuated total reflectance mid-infrared spectroscopy. *Food Control*, 405–412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.09.028>
- Xiao, Z., Dai, X., Zhu, J., & Haiyan, Y. (2015). Classification of chinese rice wine according to geographic origin and wine age based on chemometric methods and sbse-td-gc-ms analysis of volatile compounds. *Food Science and Technology Research*, 21, 371–380. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.371>
- Xu, E., Long, J., Wu, Z., Li, H., Wang, F., Xu, X., Jin, Z., & Jiao, A. (2015). Characterization of volatile flavor compounds in chinese rice wine fermented from enzymatic extruded rice. *Journal of Food Science*, 80. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12935>
- Yang Y., Xia Y., Wang G., Tao L., Yu J., & Ai L. (2019). Effects of boiling, ultra-high temperature and high hydrostatic pressure on free amino acids, flavor characteristics and sensory profiles in Chinese rice wine. *Food Chemistry*, 275, 407-416.
- Yu, H., Ying, Y., Xiaping, F., & Huishan, L. (2006). Clasification of chinese rice wine with diferent marked ages based on near infrared spectroscopy. *Journal of Food Quality*, 29, 339–352. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2006.00077.x>
- Zamora, F. (2003). *Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos*". AMW ediciones y Mundi-Prensa.
- Zhong, W., Chen, T., Yang, H., & Li, E. (2020). Isolation and selection of non-*saccharomyces* yeasts being capable of degrading citric acid and evaluation its effect on kiwi fruit wine fermentation. *Fermentation*, 6, 25–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation6010025>
- Zoecklein, B. W., Fugelsang, K. C., Gump, B. H., & Nury F.S. (2001). Análisis y producción de vino. Ed. *Acribia, S.A., Zaragoza (España)*.

**CHAPTER IV. BIOACTIVE
COMPOUNDS AND
ANTIOXIDANT CAPACITY OF
CUBAN WINES**

1. INTRODUCTION

The wines are an important source of bioactive compounds, highlighting phenolic compounds, amino acids, minerals, vitamins and carotenoid pigments. Most bioactive compounds present in the fruit and rice are bonded to insoluble plant compounds. During the winemaking process many of these compounds are liberated and can be transferred into the wine, reducing the risks of certain diseases such as cancer, cardiovascular diseases and degenerative illnesses, benefiting the human health (Klarić *et al.*, 2016; de Souza *et al.*, 2018; Pantelic *et al.*, 2014; Shahidi, 2009; Shen *et al.*, 2010, 2011; Zhong *et al.*, 2020).

Among the different bioactive compounds studied in wines, phenolic compounds present an important antioxidant capacity. They can act as antioxidants by different ways: reducing agents, hydrogen donors, free radical scavengers, singlet oxygen quenchers, and so forth (de Souza *et al.*, 2018; Mundaragi & Thangadurai, 2018; Rupasinghe & Clegg, 2007). In other hand, daily consumption of wine, in moderate quantities, contributes significantly to the requirements of human organism for essential elements as Ca, Mg, K, Co, Fe, and others. But special attention must be given to other elements which are found in wine such As, Cd, Cr, Hg, Pb for their potential toxicity. The presence of these risky species is regulated by health-protection laws (OIV, 2008; Plotka-Wasyłka *et al.*, 2017; Zúñiga *et al.*, 2014).

Moreover, amino acids are important both as essential components of proteins and for their roles in energetic metabolism, neurotransmission, and lipid transport (Shen *et al.*, 2010). Also, are precursors for aroma compounds and directly contribute to wine's aroma, taste and appearance. For wines elaborated with different raw materials, the amino acid profiles vary according to origin, wine-making processes as well as aging stage. In this sense, the studies about amino acid composition may be considered as a useful tool to ensure the authenticity of fruit and rice wines (Herbert *et al.*, 2005; Shen *et al.*, 2010; Valero *et al.*, 2003).

This study evaluated the bioactive compounds (mineral elements, amino acids and total polyphenols content), antioxidant activities (DPPH and ABTS assays) and the correlation between the selected factors and the samples of Cuban wines with the objective to highlight these unknown wines for production of healthier wine options.

2. MINERAL COMPOSITION

Table 4.1 showed the mineral composition of the wines studied. A total of seven mineral elements (Ca, Mg, Fe, Zn, Pb, Cu and Cd) were determined, and the Total Mineral Contents (TMC) were calculated (Figure 4.1 and Table A13).

Ca and Mg are defined as macroelements and in the current study were found to be the most abundant minerals, representing more than 95% of the TMC, in all wines (Paneque *et al.*, 2010; Shen *et al.*, 2013). Fe and Zn were among the minor mineral present while Pb, Cu and Cd were below the detection limits in all wine types and, therefore, below the maximum acceptable limits for these elements reported by OIV

(OIV, 2008). These results in the current study are important because these last-mentioned metals can become highly toxic if they accumulate in biological system (Rupasinghe & Clegg, 2007).

Table 4.1. Minerals contents (mg/L) in Cuban wines.

Wines	Ca	Mg	Fe	Zn	Pb	Cu	Cd
G1	94.8±3.04 ^{ab}	80.3±6.20 ^{bcd}	4.81±0.12 ^{ef}	0.83±0.06 ^e	<0.15	<0.05	<0.01
G2	116±6.39 ^c	94.1±4.22 ^e	5.35±0.15 ^f	1.21±0.08 ^g	<0.15	<0.05	<0.01
G3	196±6.89 ^e	83.6±5.34 ^{cd}	10.2±0.52 ^g	1.01±0.12 ^f	<0.15	<0.05	<0.01
G4	369±43.0 ^g	53.0±16.2 ^a	1.58±0.89 ^c	0.13±0.11 ^a	<0.15	<0.05	<0.01
G5	86.6±8.57 ^{ab}	78.4±12.8 ^{bc}	3.84±1.55 ^d	0.58±0.18 ^d	<0.15	<0.05	<0.01
TF1	158±0.04 ^d	88.7±0.08 ^{de}	4.33±0.01 ^{de}	0.79±0.01 ^e	<0.15	<0.05	<0.01
TF2	223±18.9 ^f	79.9±1.00 ^{bcd}	4.09±0.88 ^{de}	0.39±0.05 ^{bc}	<0.15	<0.05	<0.01
TF3	83.0±5.29 ^a	76.7±5.20 ^{bc}	1.35±0.08 ^{bc}	0.31±0.01 ^b	<0.15	<0.05	<0.01
R1	104±1.57 ^{bc}	71.2±7.75 ^b	0.55±0.02 ^a	0.45±0.02 ^c	<0.15	<0.05	<0.01
R2	94.9±3.12 ^{ab}	150±5.66 ^f	0.63±0.01 ^{ab}	0.49±0.0 ^{cd}	<0.15	<0.05	<0.01

Data are mean ± SD of triplicate determinations; Different superscript letters in the same column significantly different ($p < 0.05$).

G1 = Aramón and Cimarrona grapes with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G2 = Cimarrona grape; G3 = Aramón grape with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G4 = Aramón and Cimarrona raisined grapes with *Botrytis cinerea*; G5 = Aramón grapes; TF1= “frutilla”; TF2= papaya with eucalyptus chips; TF3 = tropical fruits (carambola, papaya, elder and cherry) and Aramón and Cimarrona grapes; R1 = rice with chaptalization; R2 = roast rice and fermentation with *Aspergillus oryzae*

Regarding the macroelement minerals individually, Ca levels (369 mg/L) were the highest in G4 wine (botrytised and raisined Aramón and Cimarrona grapes) and were significantly higher ($p < 0.05$) than in all other studied wines. Contrary, Ca content was the lower in G1, G5, TF3 and R2 wines without significant differences among them. In addition, Mg contents was the highest in the previous wine mentioned R2 (raw rice and roasted rice, 150 mg/L), exhibiting significant differences with the wines in the current study ($p < 0.05$). Moreover, this rice wine was the only one that showed a higher content of Mg than Ca. This is in accordance with the results pointed by Shen *et al.* (2013), for Chinese rice wines. On the contrary, this mineral presented the lowest content (53.0 mg/L) in G4 wine.

In the current study, the concentration of microelements Fe and Zn ranged between 0.55 (R1)-10.2 mg/L (G3) and 0.13 (G4)-1.21 mg/L (G2), respectively. It is known that Fe, Zn and Cu are closely related to the winemaking process (Rupasinghe & Clegg, 2007; Shen *et al.*, 2013), this fact in addition with the different raw material used in the elaboration of Cuban wines, could explain the variability of the concentrations of these elements.

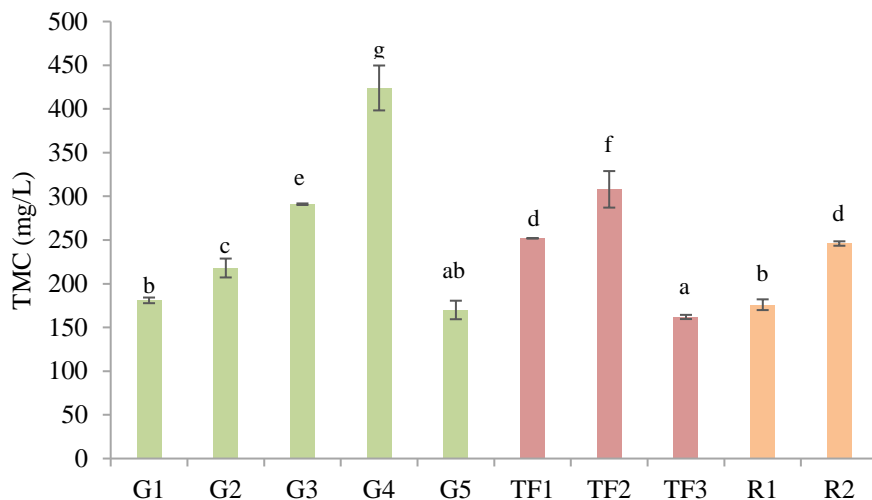


Figure 4.1. Total mineral content of the Cuban wines

Different superscript letters in the column significantly different ($p < 0.05$).

G1 = Aramón and Cimarrona grapes with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G2 = Cimarrona grape; G3 = Aramón grape with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G4 = Aramón and Cimarrona raisined grapes with *Botrytis cinerea*; G5 = Aramón grapes; TF1= “frutilla”; TF2= papaya with eucalyptus chips; TF3 = tropical fruits (carambola, papaya, elder and cherry) and Aramon and Cimarrona grapes; R1 = rice with chaptalization; R2 = roast rice and fermentation with *Aspergillus oryzae*

As can be observed in Figure 4.1, the TMC ranged from 162 mg/L in TF3 wine (raisined fruits) to 424 mg/L in G4 wine (botrytised and raisined grapes) and exhibited significant differences ($p < 0.05$) for most of the Cuban wines them.

The TMC of different grape wines varied from 170 mg/L (G5) to 424 mg/L (G4), and there were no significant differences between G1 and G5 wines. The TMC ranged to 162 mg/L (TF3) to 308 mg/L (TF2) in tropical fruits wines showed significant differences among all wines ($p < 0.05$). For rice wines, TMC was significant different varied from 176 mg/L (R1) to 246 mg/L (R2), lower than that reported by Quian *et al.*, (2019) in Chinese rice wines.

3. AMINO ACID COMPOSITION

As shown in Table 4.2, twenty-one amino acids were identified and quantified in the studied Cuban wines; however, not all the amino acids are found in all wines. In this sense, aspartic acid (Asp) and glutamic acid (Glu) were detected in all wines, followed by asparagine (Asn), serine (Ser), arginine (Arg), alanine (Ala) and aminobutyric acid (GABA) detected in eight of the ten wines studied. In general, the most abundant amino acids found in the current study for grape wines were GABA, Pro and Tyr, accounting for 94.3% (G2), 72.9% (G5), 58% (G3) and 57% (G1) of total amino acids. Contrary, for G4 wine these amino acids were not detected. In relation to tropical fruit wines, Pro and Tyr were the most abundant amino acids in fruits wines, representing between 80.0% and 85% of total amino acids content, except for papaya wine, where these amino acids, not were detected. Finally, GABA and Tyr were found to be the most

abundant amino acids in R1 wine, accounting 42.7% of the TAAC, and Asp and Glu were the mayor amino acid in R2 wine accounted for 73.4% of the TAAC.

Overall, Tyr was found to be the highest in G2, TF1 and TF3 wines; this amino acid has been known to play a role in the wine taste (acerbity) if it presents at high levels (Cao *et al.*, 2010). Besides, Pro was the most abundant amino acid found in G3 and G1, consistent with the findings of Gutiérrez-Gamboa *et al.* (2020) and Wang *et al.* (2014) who reported this as major amino acid in Tempranillo and Cabernet Sauvignon grape wines. Moreover, Asp was the major amino acid in G4 and R2 wines. Cao *et al.* (2010) also reported of high levels of Asp in Chinese rice wines, which contributes with umami flavor to these wines. Finally, GABA was the predominant amino acid in G5 and R1 wines and Asn in TF2 wine. Recent studies have also shown that there is a large amount of GABA in Chinese rice wine. This amino acid, catalyzed from glutamic acid by glutamic acid decarboxylase, is the most important inhibiting neurotransmitter in the brain with numerous health effects (Joye *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2015). Likewise, Giovanni *et al.* (2015) reported high levels of Asn and GABA amino acids in Italian wines.

The variability in the obtained values is in according with other studies which indicates that the amino acid profile varies significantly across the different raw material and may be influenced by a large variety of factors including variety, edaphoclimatic conditions, fertilization, management, and fermentation conditions (Clark *et al.*, 1992; Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2020).

Table 4.2. Amino acids contents (mg/L) in Cuban wines

Wines											
Amino acids	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2	
Asp	42.3±0.54 ^d	33.0 ± 0.65 ^c	93.4 ± 1.64 ^g	193 ± 3.65 ^h	20.9 ± 0.19 ^a	28.2 ± 2.12 ^b	19.8 ± 0.53 ^a	60.2 ± 1.89 ^e	72.4 ± 0.48 ^f	201 ± 2.52 ⁱ	
Glu	85.5±0.66 ^e	82.9 ± 2.73 ^c	81.7 ± 1.28 ^e	15.4 ± 0.29 ^a	32.7 ± 0.13 ^b	55.3 ± 3.18 ^d	57.5 ± 3.07 ^d	46.8 ± 0.15 ^c	31.5 ± 1.17 ^b	106 ± 9.97 ^f	
Asn	32.6±1.57 ^c	nd	23.5±1.10 ^{bc}	19.9 ± 1.78 ^b	119 ± 5.18 ^e	27.6±0.31 ^{bc}	106 ± 28.7 ^d	3.06 ± 0.01 ^a	nd	20.7 ± 2.71 ^b	
Ser	14.7±2.24 ^e	9.89 ± 3.28 ^d	9.22±1.04 ^{cd}	nd	8.74±0.14 ^{cd}	5.32 ± 0.23 ^b	nd	7.86 ± 1.76 ^c	5.25 ± 1.03 ^b	3.31 ± 0.32 ^a	
His	19.1±0.42 ^b	2.63 ± 0.62 ^a	24.6 ± 0.23 ^d	nd	nd	nd	nd	19.8 ± 0.22 ^c	nd	nd	
Gly	131±3.41 ^f	31.6 ± 3.59 ^c	127 ± 2.15 ^e	nd	nd	14.1 ± 0.21 ^b	7.39 ± 0.54 ^a	56.6 ± 0.30 ^d	31.7 ± 0.02 ^c	nd	
Thr	56.4±3.98 ^c	11.7 ± 2.73 ^a	78.1 ± 4.19 ^d	nd	nd	nd	nd	38.5 ± 2.20 ^b	14.0 ± 1.83 ^a	nd	
Arg	93.1±3.87 ^f	3.78 ± 0.23 ^a	65.2 ± 1.16 ^e	12.1 ± 0.03 ^c	nd	11.7 ± 1.06 ^c	9.89 ± 0.02 ^b	35.3 ± 0.50 ^d	5.34 ± 0.01 ^a	nd	
Ala	35.8±0.93 ^f	15.3 ± 0.05 ^b	28.7 ± 0.38 ^e	nd	nd	39.7 ± 0.78 ^g	45.8 ± 0.83 ^b	19.9 ± 0.06 ^c	24.1 ± 0.65 ^d	6.30 ± 0.17 ^a	
GABA	198±6.13 ^g	12.6 ± 1.31 ^a	101 ± 1.39 ^e	nd	764 ± 14.4 ^b	27.0±3.14 ^b	nd	48.7 ± 2.19 ^d	149 ± 5.09 ^f	35.6 ± 1.22 ^c	
Pro	1490±135 ^c	nd	730 ± 88.4 ^b	nd	nd	124 ± 1.98 ^a	nd	128 ± 16.1 ^a	nd	nd	
Tyr	187±6.82 ^b	5864 ± 269 ^e	431 ± 7.73 ^c	nd	97.9 ± 4.85 ^{ab}	1406±41.1 ^d	nd	177 ± 9.06 ^b	116 ± 4.46 ^b	nd	
Val	24.3±1.76 ^d	4.60 ± 0.88 ^b	4.70 ± 0.52 ^b	nd	11.4 ± 0.73 ^c	11.9 ± 0.00 ^c	nd	3.33 ± 0.22 ^a	4.85 ± 0.18 ^b	nd	
Met	195±5.45 ^f	60.5 ± 7.99 ^d	109 ± 1.86 ^e	nd	nd	nd	17.0 ± 0.95 ^a	55.9 ± 0.70 ^c	20.5 ± 1.76 ^a	25.0 ± 0.84 ^b	
Cys	31.8±0.06 ^d	14.1 ± 0.52 ^b	21.1 ± 0.14 ^c	nd	37.8 ± 0.25 ^e	nd	nd	11.5 ± 0.44 ^a	nd	nd	
Ile	nd	nd	2.0 ± 0.52 ^a	nd	nd	nd	36.0 ± 4.84 ^c	18.3 ± 1.33 ^b	36.0 ± 0.11 ^c	nd	
Trp	72.7 ± 7.10 ^e	18.9 ± 4.86 ^a	nd	34.8 ± 0.26 ^b	65.6 ± 9.30 ^d	43.4 ± 0.77 ^c	nd	nd	nd	nd	
Leu	38.5 ± 3.46 ^b	nd	nd	11.8 ± 0.55 ^a	10.7 ± 0.44 ^a	nd	nd	nd	nd	nd	
Phe	129 ± 7.28 ^d	nd	28.2 ± 3.16 ^a	nd	nd	nd	31.8 ± 3.93 ^a	36.3 ± 3.32 ^b	67.8 ± 1.67 ^c	nd	
Orn	235 ± 12.2 ^e	32.0 ± 2.69 ^b	113 ± 1.90 ^d	nd	nd	nd	29.0 ± 1.03 ^b	47.5 ± 6.20 ^c	20.6 ± 0.13 ^a	nd	
Lys	153 ± 11.0 ^e	36.9 ± 2.44 ^b	103 ± 6.14 ^d	nd	nd	nd	21.0 ± 0.91 ^a	56.7 ± 1.02 ^c	21.1 ± 0.13 ^a	20.0 ± 0.73 ^a	

Data are mean ± SD of triplicate determinations; Different superscript letters in the same line significantly different (p < 0.05)

Figure 4.2 (Table A13) shows the total amino acids content (TAAC) of the Cuban wines. As can be observed the values of grape wines ranged from 287 mg/L (G4) to 6233 mg/L (G2) and showed significant differences at $p < 0.05$. The low value in G4 wine may be caused by the amino acid degradation during the process of grape dehydration by sun exposure; similar results were reported by Pereira *et al.* (2008) for Madeira fortified wines. In the remaining grape wines, the TAAC was higher than some reported values which ranged between 350-1000 mg/L, highlighting the value of G2 wine, elaborated with Cimarrona grape (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2020; Hernández-Orte *et al.*, 2006). In relation to the tropical fruits wines, the TAAC varied from 381 mg/L (TF2) to 1795 mg/L (TF1) and showed significant differences at $p < 0.05$. The lowest value was shown in Papaya wine (TF2) while “frutilla” wine had the highest content. Lee *et al.* (2011) reported that fresh papayas have relatively low amino acid content as compared to grape and other tropical fruits.

Regarding rice wines, it could be found that TAAC in R1 wine (620 mg/L) was significantly ($p < 0.05$) higher than obtained for R2 wine (418 mg/L). The decrease might be due to deamination and decarboxylation reactions during the roasting process (Feuillat & Charpentier, 1982). Besides, these contents were lower than 1.0 to 5.0 g/L, reported in Chinese rice wines studies (Cao *et al.*, 2010; Shen *et al.*, 2011).

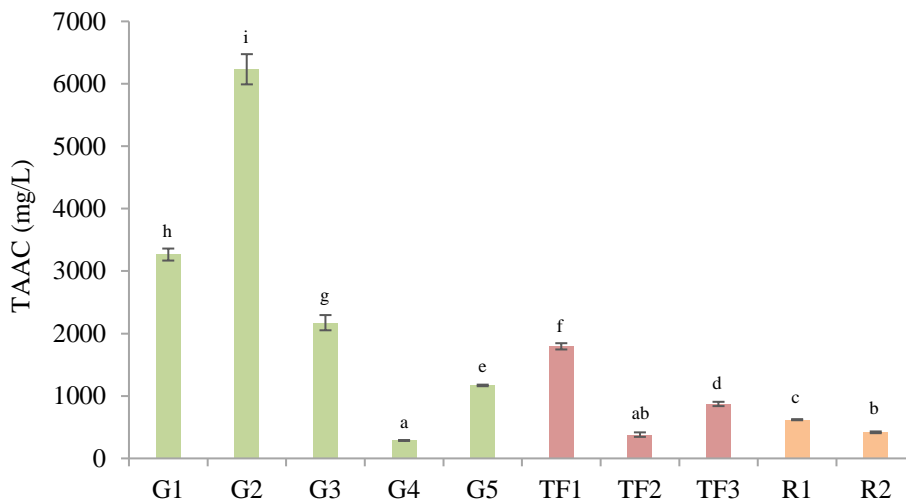


Figure 4.2. Total amino acid content of the Cuban wines

Different superscript letters in the column significantly different ($p < 0.05$).

G1 = Aramón and Cimarrona grapes with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G2 = Cimarrona grape; G3 = Aramón grape with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G4 = Aramón and Cimarrona raisined grapes with *Botrytis cinerea*; G5 = Aramón grapes; TF1= “frutilla”; TF2= papaya with eucalyptus chips; TF3 = tropical fruits (carambola, papaya, elder and cherry) and Aramon and Cimarrona grapes; R1 = rice with chaptalization; R2 = roast rice and fermentation with *Aspergillus oryzae*

4. TOTAL PHENOLICS CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY

The TPC of different Cuban wines was between 200 mg GAE/L in TF1, TF2 and R1 ($p < 0.05$) to 2250 mg GAE/L in R2 (Figure 4.3, Table A13). This wide range is due to concentration and composition of the phenolic compounds present in wines depends largely on the source of raw material and the winemaking processes. Based on the TPC and according to Rupasinghe and Clegg (2007), studied wines can be categorized in to three major groups: high TPC (R2 wine, 2250 mg GAE/L); moderately high TPC (G3 and G1 wines, ranged from 817 to 904 mg GAE/L, respectively); and low TPC (G5, G2, G4, TF1, TF2, TF3 and R1 wines, ranged from 195 to 480 mg GAE/L). It can be seen that the TPC of the different types of rice wine is significantly different ($p < 0.05$) from each other it indicated that these contents in these wine types is mainly derived from the treatment given to the raw material. Resulting drastically different wine quality parameters under the same fermentation conditions which agrees with the results reported by Cai *et al.* (2019) and Chay *et al.* (2020) in Chinese and Cambodia rice wines, respectively.

The results indicated that Cuban tropical fruit wines contain lower levels of phenolic compounds as compared to elderberry, cherry, blueberry and black currant wines which contains high phenolic content averaging between 1509 to 2005 mg GAE/L (Pantelic *et al.*, 2014; Rupasinghe & Clegg, 2007). However, they were close to the values reported by Rupasinghe and Clegg (2007) for pear, peach and apple wines, which were between 310-451 mg GAE/L. The TPC of TF3 sample was significantly higher ($p < 0.05$) than the other tropical fruit wines due to the enrichment with raisined grape must during its elaboration.

The highest values of TPC were found in wines R2, G1 and G3 (2250, 904 and 817 mg GAE/L, respectively), which were elaborated using fungus during their winemaking. Some author observed a decreased in total phenolic compounds of botrytized grapes compared to healthy grapes, however they reported an increase of flavan-3-ol family (Carbajal-Ida *et al.*, 2016). The studied wines were elaborated from different raw material and different winemaking procedures, for example the use of chips, so the differences in the values of total phenolic compounds could be due to these facts.

The antioxidant capacity of food is determined by the presence of different antioxidants, with different mechanisms of action, therefore, the antioxidant capacity of food products should be evaluated with a variety of methods which occur with different mechanisms (Moo-Huchin *et al.*, 2014). In this study, the antioxidant capacity (AC) was determined by two methods, the ABTS and DPPH assays (Figure 4.3, Table A13). The highest concentration values by ABTS assays were obtained in G1, G3 and R2 wines, reached values higher than 2000 mg TE/L. The two first were elaborated added Botrytis fungus and the third was from roasting rice with *Aspergillus oryzae*. Meanwhile, the highest values by DPPH assay (>290 mg TE/L) were found in above mentioned wines in addition with G5, this last wine were elaborated with skin contact which increase the phenolic compounds concentration. Contrary, R1 and TF2 (papaya wine) presented the lowest values of antioxidant capacity measured by both assays.

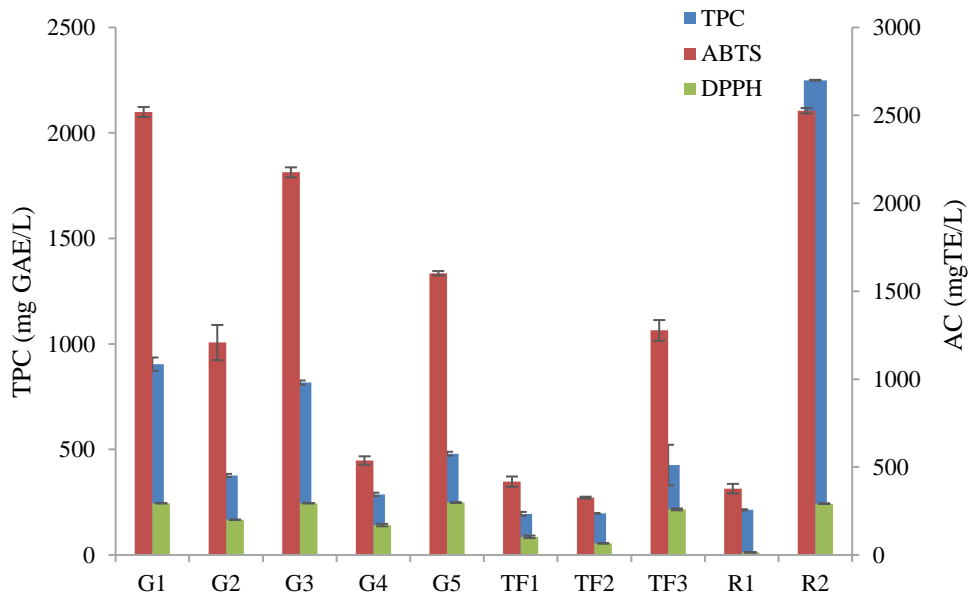


Figure 4.3. Total phenolic compound, and antioxidant activity measured by DPPH and ABTS assays.

G1 = Aramón and Cimarrona grapes with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G2 = Cimarrona grape; G3 = Aramón grape with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G4 = Aramón and Cimarrona raisined grapes with *Botrytis cinerea*; G5 = Aramón grapes; TF1= “frutilla”; TF2= papaya with eucalyptus chips; TF3 = tropical fruits (carambola, papaya, elder and cherry) and Aramón and Cimarrona grapes; R1 = rice with chaptalization; R2 = roast rice and fermentation with *Aspergillus oryzae*

To establish a correlation between antioxidant capacity and the bioactive composition the correlation coefficients was determinate (Table 4.3). The antioxidant capacity measured by DPPH assay expresses a low correlation with TPC ($R= 0.3473$) and a moderate positive correlation was found for the values obtained by ABTS assay ($R= 0.6200$) correlated with phenolics compounds. In this sense, some authors found a high correlation between the phenolic content and the antioxidant capacity (Kuskoski *et al.*, 2005; Reddy & Reddy, 2010), while others found no relationship (Imeh & Khokhar, 2002; Thaipong *et al.*, 2006).

Table 4.3. Correlation coefficients for total phenolic compounds (TPC) and total amino acids content (TAAC) with the antioxidant capacity

	Correlation coefficients	
	DPPH assay	ABTS assay
TPC	0.3473*	0.6200*
TAAC	0.0470*	0.0561*

* Not significant at $p < 0.05$ level.

The results suggest that the phenolic compounds, may be not the unique contributors to the antioxidant capacity in the Cuban wine studied in this research. In the other hand, the correlation of total amino acid content with the antioxidant capacity values showed a low correlation. In all case analyzed, the correlation was not significant at $p < 0.05$

level. Therefore, the antioxidant capacity in Cuban wines can be attributed to the actions of different antioxidant compounds, such as phenolic compounds, amino acids, or bioactive peptides among other substances such as isothiocyanates, vitamins, flavonoids, etc. whose effect can be antagonistic or synergistic.

To identify the specific parameters most accurately reflecting the differences between wines, the TPC, TAAC and TMC data for the different Cuban wines were subjected to multivariate principal component analysis. Figure 4.4 shows the scores of each sample on the plane defined by the first two principal components (PC) (eigenvalue > 1), which accounted for 76.91% of the total variance and allowed the different wines elaborated from several raw material to be discriminated. Based on the results, the PC1 accounted for 42.01% of the total variance and correlated positively with total amino acid contents and negatively with total mineral contents and being the variables with the highest statistical weights on this component.

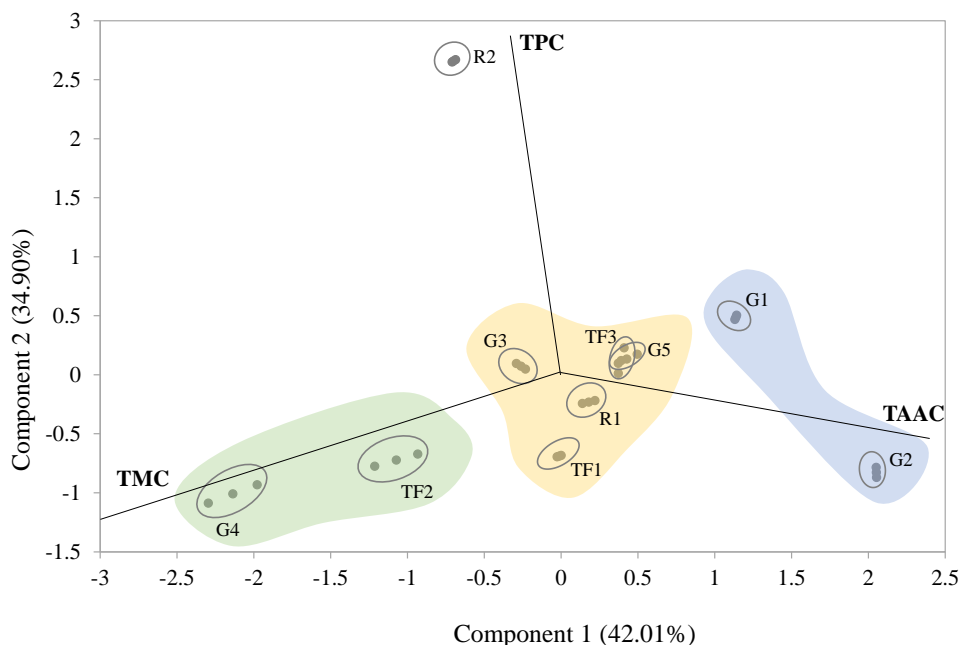


Figure 4.4. Principal component analysis: biplot representation of wines and statistical variables

G1 = Aramón and Cimarrona grapes with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G2 = Cimarrona grape; G3 = Aramón grape with *Botrytis cinerea* and with *Rhizophora mangle* L. chips addition; G4 = Aramón and Cimarrona raisined grapes with *Botrytis cinerea*; G5 = Aramón grapes; TF1= “frutilla”; TF2= papaya with eucalyptus chips; TF3 = tropical fruits (carambola, papaya, elder and cherry) and Aramon and Cimarrona grapes; R1 = rice with chaptalization; R2 = roast rice and fermentation with *Aspergillus oryzae*; TAAC, total amino acids content; TMC, total mineral contents; TPC, total phenolic compound

The variable total phenolic compounds were that exerting more influence on the PC2, which accounted for 34.90% of the total variance, showing a positively correlation with this component. Except for samples corresponding to R2, no statistical separation could be clearly observed for the other wines, mainly because of the high dispersion in the data. However, taking to account scores on the PC1, 3 wine groups could be defined. The first, for the wines G1 and TF2, the variable with highest statistical weight on the

PC1 was total mineral content (TMC), these wines showed the highest values in this parameter. Other group include the wines G5 and G2, in this case the variable with highest statistical weight was the total amino acid content (TAAC). Finally, the third group the rest of the wines, and they did not show a clear separation and obtained low scores with respect to all the variables.

5. CONCLUSIONS

1. Cuban wines elaborated from different raw materials were found to be a source of essential amino acids, minerals, and phenolic compounds.
2. Ca and Mg were the principal mineral elements quantified in all wines, presenting Ca higher levels than Mg, excepted in R2 wine.
3. The significantly highest values of total amino acid content and total mineral content were displayed in G2 wine and G5 wine, respectively.
4. Total phenolic content was significantly highest in R2 rice wines, correlated with their highest value of antioxidant capacity. In addition, grape wines (G1, G3, and G4) also showed high values of antioxidant capacity.
5. The multivariate principal component analysis carried out allowed define three wine groups influenced by PC1, in this variable total mineral content and total amino acid content had the highest statistical weight.

6. REFERENCES

- Cai, H., Zhang, Q., Shen, L., Luo, J., Zhu, R., Mao, J., & Zhao, M. (2019). Phenolic profile and antioxidant activity of Chinese rice wine fermented with different rice materials and starters. *LWT-Food Science and Technology*, *111*, 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.003>
- Cao, Y., Xie, G., Wu, C., & Lu, J. (2010). A study on characteristic flavor compounds in traditional chinese rice wine-Guyue Longshan rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, *116*, 182–189. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00416.x>
- Carbajal-Ida, D., Maury, C., Salas, E., Siret, R., & Mehinagic, E. (2016). Physico-chemical properties of botrytised Chenin blanc grapes to assess the extent of noble rot. *European Food Research and Technology*, *42*, 117–126.
- Chay, C., Dizon, E., Hurtada, W., Elegado, F., Norng, C., & Raymundo, L. (2020). Total phenolic content and antioxidant activity of rice wine from waxy pigmented and non-pigmented rice varieties produced by traditional and multi-parallel fermentation. *Food Research*, *4*, 199–206. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(1\).036](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(1).036)
- Clark, C. J., Smith, G. S., & Bolding, H. L. (1992). Effect of nitrogen fertilisation on the free amino acid composition of kiwifruit during development and postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, *52*, 85–94.

- de Souza, A. C., Fernandes, A. C. F., Silva, M. S., Schwan, R. F., & Dias, D. R. (2018). Antioxidant activities of tropical fruit wines. *Journal of the Institute of Brewing*, 124, 492–497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jib.504>
- Feuillat, M., & Charpentier, C. (1982). Autolysis of yeasts in champagne. *American Journal of Enology and Viticulture*, 33, 6–13.
- Giovanni, C. I., Congiu, F., Serreli, G., & Mamei, S. (2015). Determination of dansylated amino acids and biogenic amines in Cannonau and Vermentino wines by HPLC-FLD. *Food Chemistry*, 175, 29–35.
- Gutiérrez-Gamboa, G., Garde-Cerdán, T., Rubio-Bretón, P., & Pérez-Álvarez, E. P. (2020). Study of must and wine amino acids composition after seaweed applications to Tempranillo blanco grapevines. *Food Chemistry*, 308, 125605–125614.
- Herbert, P., Cabrita, M. J., Ratola, N., Laureano, O., & Alves, A. (2005). Free amino acids and biogenic amines in wines and musts from the Alentejo region. Evolution of amines during alcoholic fermentation and relationship with variety, sub-region and vintage. *Journal of Food Engineering*, 66, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.024>
- Hernández-Orte, P., Ibarz, M. J., Cacho, J., & Ferreira, V. (2006). Addition of amino acids to grape juice of the Merlot variety: Effect on amino acid uptake and aroma generation during alcoholic fermentation. *Food Chemistry*, 98, 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.073>
- Imeh, U., & Khokhar, S. (2002). Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 6301–6306.
- Joye, I. J., Lamberts, L., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2011). In situ production of γ -aminobutyric acid in breakfast cereals. *Food Chemistry*, 129, 395–401.
- Klarić, D., Klarić, I., Mornar, A., Velić, D., & Velić, N. (2016). Blackberry wines mineral and heavy metal content determination after dry ashing: multivariate data analysis as a tool for fruit wine quality control. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 67, 514–523. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1181159>
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25, 726–732.
- Lee, P., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2011). Impact of amino acid addition on aroma compounds in papaya wine fermented with *Williopsis Mraki*. *Journal of Enology and Viticulture*, 32, 220–228. <https://doi.org/10.21548/32-2-1382>
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas-Vargas, M. L., Betancur-Ancona, D. & Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 152, 265–286.

- Mundaragi, A., & Thangadurai, D. (2018). Process optimization, physicochemical characterization and antioxidant potential of novel wine from an underutilized fruit *Carissa spinarum* L. (*Apocynaceae*). *Food Science and Technology*, *38*, 428-433.
- OIV (2008). Compendium of international methods of wine and must analysis. Ed. *International Organisation of Vine and Wine*, Paris (France). <https://www.oiv.int/fr/organisation-internationale-de-la-vigne-et-du-vin>
- Paneque, P., Alvarez-Sotomayor, M. T., Clavijo, A., & Gomez, I. A. (2010). Metal content in southern Spain wines and their classification according to origin and ageing. *Microchemical Journal*, *94*, 175–179.
- Pantelic, M., Dabic, D., Matijašević, S., Davidovic, S., Dojlinovic, B., Milojkovic-Opsenica, D., Civoslav. Tešić, & Natic, M. (2014). Chemical characterization of fruit wine made from Oblacinska sour cherry. *The Scientific World Journal*, *2014*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/454797>
- Plotka-Wasyłka, J., Rutkowska, M., Cieslik, B., Tyburcy, A., & Namiesnik, J. (2017). Determination of selected metals in fruit wines by spectroscopic techniques. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2017*, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2017/5283917>
- Pereira, V., Pontes, M., Câmara, J. S., & Marques, J. C. (2008). Simultaneous analysis of free amino acids and biogenic amines in honey and wine samples using in loop orthophthalaldehyde derivatization procedure. *Journal of Chromatography A*, *1189*, 435-443.
- Qian, L., Zhang, C., Zuo, F., Zheng, L., Li, D., Zhang, A., & Zhang, D. (2019). Effects of fertilizers and pesticides on the mineral elements used for the geographical origin traceability of rice. *Journal of Food Composition and Analysis*, *83*, 103276–103283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103276>
- Reddy, L., & Reddy, O. (2010). Effect of fermentation conditions on yeast growth and volatile composition of wine produced from mango (*Mangifera Indica* L.) fruit juice. *Food and Bioprocess Technology*, *89*, 487–491. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.007>.
- Rupasinghe, H. P., & Clegg, S. (2007). Total antioxidant capacity, total phenolic content, mineral elements, and histamine concentrations in wines of different fruit sources. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*, 133-137.
- Shahidi, F. (2009). Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, *20*, 376–387.
- Shen, F., Niu, X., Yang, D., Ying, Y., B. Li, Zhu, G., & Wu, J. (2010). Determination of amino acids in Chinese rice wine by Fourier transform near-infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*, 9809–98016. <https://doi.org/10.1021/jf1017912>
- Shen, F., Ying, Y., Li, B., Zheng, Y., & Zhuge, Q. (2011). Multivariate classification of rice wines according to ageing time and brand based on amino acid profiles. *Food Chemistry*, *128*, 565–569.

- Shen, S., Xia, L., Xiong, N., Liu, Z., & Sun, H. (2013). Determination of the geographic origin of rice by element fingerprints and correlation analyses with the soil of origin. *Analytical Methods*, *5*, 6177–6185. <https://doi.org/10.1039/c3ay40700d>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal Food Composition and Analysis*, *19*, 669–675.
- Valero, E., Millán, C., Ortega, J. M., & Mauricio, J. C. (2003). Concentration of amino acids in wine after the end of fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*, 830-835. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1417>
- Wang, Y., Ye, D., Zhu, B., Wu, G-F., & Duan, C. Q. (2014). Rapid HPLC analysis of amino acids and biogenic amines in wines during fermentation and evaluation of matrix effect. *Food Chemistry*, *163*, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.064>
- Xu, E., Long, J., Wu, Z., Li, H., Wang, F., Xu, X., Jin, Z., & Jiao, A. (2015). Characterization of volatile flavor compounds in chinese rice wine fermented from enzymatic extruded rice. *Journal of Food Science*, *80*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12935>
- Zhong, W., Chen, T., Yang, H., & Li, E. (2020). Isolation and selection of non-*saccharomyces* yeasts being capable of degrading citric acid and evaluation its effect on kiwi fruit wine fermentation. *Fermentation*, *6*, 25–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation6010025>
- Zuñiga, M. C., Pérez-Roa, R. E., Olea-Azar, C., Laurie, V. F., & Agosin, E. (2014). Contribution of metals, sulfur-dioxide and phenolic compounds to the antioxidant capacity of Carménere wines. *Journal of Food Composition and Analysis*, *35*, 37–43.

**CAPÍTULO V. COMPOSICIÓN
AROMÁTICA DE VINOS
CUBANOS**

1. INTRODUCCIÓN

En general, los vinos se componen principalmente de agua, alcoholes, azúcares, ácidos orgánicos y constituyentes menores como polifenoles y aromas (Duarte *et al.*, 2010). Estos componentes del aroma son de gran importancia para definir el carácter organoléptico del producto final. Sin embargo, aunque existen numerosos estudios acerca de la composición aromática de diferentes tipos de vinos del mundo, es muy limitada la información sobre la composición aromática de los vinos caribeños elaborados con frutas exóticas, uvas o cereales (Rupasinghe & Clegg, 2007).

El aroma es uno de los factores más complejo en los vinos ya que se incluyen más de 1300 compuestos, entre los que se encuentran alcoholes, ésteres, ácidos, aldehídos, isoprenoides, lactonas y cetonas, entre otros (Lockshin & Corsi, 2012; Rapp, 1998; Saénz-Navajas *et al.*, 2013; Villamor & Ross, 2013). La determinación de estos metabolitos ha sido durante años uno de los retos más importantes. Este hecho se debe principalmente a que la fracción volátil del vino es sumamente compleja; como ya se ha mencionado anteriormente, pueden encontrarse en forma libre o combinada, presentando diferentes polaridades, solubilidad y volatilidades, abarcando un amplio rango de concentraciones, desde ng/L a g/L.

Por otro lado, la determinación de los compuestos del aroma en vinos requiere generalmente antes del análisis instrumental, de procesos de extracción y preparación de las muestras. En este sentido, es necesario obtener un extracto que contenga todos estos compuestos presentes en el vino original sin que hayan sido alterados. Diferentes técnicas han sido desarrolladas durante años tratando de lograr este objetivo y todas ellas presentan algunas ventajas y desventajas (Ortega-Heras *et al.*, 2002). A continuación, se citan algunas de las técnicas más empleadas:

- a) Extracción líquido-líquido. Durante años ha sido una de las técnicas más utilizadas para la extracción de metabolitos volátiles del vino ya que es versátil y permite extracciones simultáneas utilizando disolventes con distintas polaridades. La tendencia a la reducción del coste y del impacto ambiental ha dado lugar al desarrollo de micro extracciones del tipo líquido-líquido y líquido-líquido dispersiva (Ferreira *et al.*, 1997; Moyano *et al.*, 2010; Ruiz *et al.*, 2014).
- b) Extracción con fluidos supercríticos. Los disolventes utilizados presentan propiedades intermedias entre un gas y un líquido; lo que favorece su penetración en diferentes matrices y, por tanto, la solubilización de los solutos. Esta técnica se ha aplicado con éxito en el análisis de los compuestos volátiles del vino utilizando gases como CO₂ o CO₂ con etanol (Blanch *et al.*, 1996; Karasek *et al.*, 2003; Levy, 2000).
- c) Extracción en fase sólida. Consiste en pasar la muestra de interés sobre una fase sólida que los adsorbe de manera específica. Esta técnica también emplea volúmenes reducidos de disolvente y tiene la ventaja de ser una técnica selectiva mediante el uso de fases adsorbentes adecuadas (Castro *et al.*, 2003). La micro extracción en fase sólida, así como la extracción por sorción con barra de agitación, se basan en el uso de uno o varios polímeros combinados, para realizar la extracción y la preconcentración de los analitos de la muestra (Lord, 2000).

d) Análisis por espacio de cabeza. En este caso el vino se satura con una sal soluble para disminuir la presión de vapor del agua por lo que se establece un estado de equilibrio líquido-vapor. Además, se deben optimizar diferentes parámetros como el tiempo de extracción, la temperatura de la muestra durante la extracción, la fuerza iónica y el volumen de la muestra (Castro *et al.*, 2003; Marquez *et al.*, 2014; Moyano *et al.*, 2019).

Una vez extraídos los metabolitos de interés, se hace necesario la identificación y cuantificación de estos compuestos. Para ello, se emplea mayoritariamente la cromatografía gaseosa (GC) ya que, aunque la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) se ha utilizado para la separación y cuantificación, realmente no es una buena alternativa. La CG ofrece un mejor poder de resolución para la separación de los metabolitos volátiles; sin embargo, no es considerada una técnica de identificación. La cromatografía de gases junto con la espectrometría de masas (GC-MS) es la técnica más utilizada para el análisis de los compuestos aromáticos volátiles del vino con una alta eficacia de separación y sensibilidad (Armanino *et al.*, 2008; Liu & Ying, 2005; Mendes-Ferreira *et al.*, 2019).

En este contexto, el objetivo del presente capítulo fue caracterizar la composición aromática de los vinos cubanos objeto de este estudio.

2. COMPUESTOS DEL AROMA

El aroma del vino depende de numerosos factores, en particular de la materia prima con la que se elabora, así como de las características particulares del proceso de vinificación y envejecimiento (Boido *et al.*, 2013; Swiegers *et al.*, 2005). En este estudio, se detectaron 64 compuestos en la fracción volátil, mediante extracción en fase sólida y posterior separación y cuantificación por GC-MS. Estos compuestos se agruparon en 9 familias químicas (alcoholes, ésteres, fenoles, ácidos, aldehídos, terpenos, cetonas y lactonas) que representaron porcentajes variables para cada tipo de vino (Tabla 5.1).

Como puede observarse, en general, los alcoholes y ésteres son las familias mayoritarias en los vinos, representando más del 80, 85 y 95% del total de aromas en los vinos de uva, frutas tropicales y arroz, respectivamente. En particular para los alcoholes el porcentaje osciló entre 15.6 en R1 y 67.7 para R2, mientras que, para los ésteres, osciló entre 24.7 en TF3 y 79.3 en R1. Resultados similares donde los alcoholes y ésteres fueron los componentes mayoritarios son reportados por autores como Ruiz *et al.* (2014), Fariña *et al.* (2015) y Perestrelo *et al.* (2019) en vinos de uva. Pino & Queris (2011, 2012), indicaron que estas familias de compuestos también fueron los componentes principales en vinos de frutas tropicales. Además, autores como Luo *et al.* (2008), Cao *et al.*, (2010) y Xiao *et al.*, (2015) señalan que alcoholes y ésteres son los componentes mayoritarios en vinos de arroz chino.

Tabla 5.1. Porcentaje respecto del total de la composición aromática de las diferentes familias químicas en los vinos cubanos analizados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Alcoholes	62.2	54.8	53.0	49.3	25.6	49.8	55.8	64.0	15.6	67.7
Ésteres	35.6	42.4	41.2	31.1	67.8	47.5	29.3	24.7	79.3	30.4
C.Fenólicos	1.10	1.81	4.44	11.6	5.83	2.31	12.7	1.43	2.87	1.33
Ácidos	0.366	0.084	0.097	7.58	0.164	0.269	1.55	0.485	0.061	0.000
Aldehídos	0.299	0.289	1.11	0.083	0.097	0.000	0.066	9.17	1.77	0.116
Terpenos	0.000	0.000	0.028	0.000	0.033	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000
Cetonas	0.279	0.241	0.007	0.000	0.006	0.000	0.118	0.140	0.094	0.187
Lactonas	0.140	0.325	0.117	0.317	0.487	0.157	0.462	0.082	0.327	0.274

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Le siguen en importancia cuantitativa la familia de compuestos fenólicos, que representan entre 1.10% (G1) y 11.6% (G4) para los vinos de uva, entre 1.43 y 12.7% para los vinos de frutas tropicales y entre 1.33 y 2.87% en los vinos de arroz. En concreto destaca el alto porcentaje de fenoles en los vinos G4 y TF2 elaborados con uvas pasificadas y con papaya respectivamente. Autores como Escudero *et al.* (2007) y Fariña *et al.* (2015), destacan la presencia de diversos compuestos fenólicos en vinos de uvas. Por otro lado, Xiao *et al.* (2015) indican que estos compuestos, tienen una importancia secundaria en el aroma de vinos de arroz chino. Por último, Pino & Queris (2011) reportan menores porcentajes de compuestos fenólicos en vinos de frutas tropicales. Respecto de la familia de ácidos, los únicos vinos que destacan con porcentajes superiores a 1 fueron G4 y TF2, 7.58 y 1.55%, respectivamente, por lo que esta familia de compuestos influirá también en la fracción libre del aroma de estos vinos.

A continuación, con un menor peso, en la mayoría de los casos inferiores a 1, se encuentran, aldehídos, terpenos, cetonas y lactonas. Únicamente superaron este valor los vinos G3, TF3 y R1 con porcentajes de aldehídos de 1.11, 9.17 y 1.77%, respectivamente. Diferentes autores también señalan a estos grupos de compuestos como menos representativos porcentualmente en el perfil aromático de vinos de uvas, frutas tropicales y arroz (Korenika *et al.*, 2021; Pino & Queris, 2012; Wei *et al.*, 2018). Estudios realizados por Escudero *et al.*, (2007) y Fariña *et al.* (2015), identifican la presencia de estos compuestos minoritarios en vinos de uva. Mientras que Xiao *et al.*, (2015) obtienen resultados similares a los presentados en los vinos de arroz cubanos, para estas familias de compuestos. Por otra parte, Pino & Queris (2012) en vino de papaya indican que la concentración total de terpenos representaba el 1.7% del total de compuestos volátiles analizados; sin embargo, en el vino de papaya (TF2) analizado en este estudio, no fueron cuantificados.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos para cada familia de compuestos del aroma.

2.1. ALCOHOLES SUPERIORES

Los alcoholes superiores contribuyen significativamente al aroma del vino, ya que son productos secundarios del metabolismo de la levadura, y están asociados a olores picantes, dulces y afrutados (Li *et al.*, 2006). Como se muestra en la Tabla A14, los alcoholes fueron el grupo más numeroso con 13 compuestos volátiles identificados: 2-feniletanol, 2-metilpropanol, 1-butanol, 3-metilbutanol, 1-pentanol, 3-metilpentanol, 1-hexanol, 3-etoxipropanol, 1-hexen-3-ol, 2-etilhexanol, 1,3-butanediol, 1-octanol, 1-metionol. En el vino G5 se cuantificó el mayor número de compuestos, con 11 alcoholes, mientras que, por el contrario, en los vinos TF3 y R1 el menor, para un total de 4 alcoholes.

En la Figura 5.1 se muestra el contenido total de alcoholes cuantificados en los vinos de estudio. Es conocido que los alcoholes superiores cuando están presentes a concentraciones superiores a 500 mg/L en el vino, pueden ser considerados como indeseables. Sin embargo, a concentraciones moderadas esta familia de compuestos aporta complejidad al aroma del vino lo cual es considerado por diferentes autores como un aspecto positivo (Šehović *et al.*, 2007; Soufleros *et al.*, 2001). Como puede observarse, los vinos de uva presentaron contenidos totales que oscilaron entre 93.1 mg/L (G5) a 1166 mg/L (G1), los de frutas entre 73.0 mg/L (TF1) y 1322 mg/L (TF3) y los de arroz entre 177 mg/L (R1) y 203 mg/L (R2). Es interesante señalar que las concentraciones totales promedio de alcoholes en los vinos cubanos de uva analizados, son menores a los reportados por otros autores que emplean otras variedades de uva (García-Carpintero *et al.*, 2011); mientras que, los vinos de arroz presentan concentraciones similares a los vinos de arroz chino (Chen & Xu, 2010; Jiang *et al.*, 2013). En los vinos de frutas tropicales, los valores encontrados en la bibliografía son muy variados ya que dependen en gran medida de la materia prima empleada (Boido *et al.*, 2003; Pino & Queris, 2012).

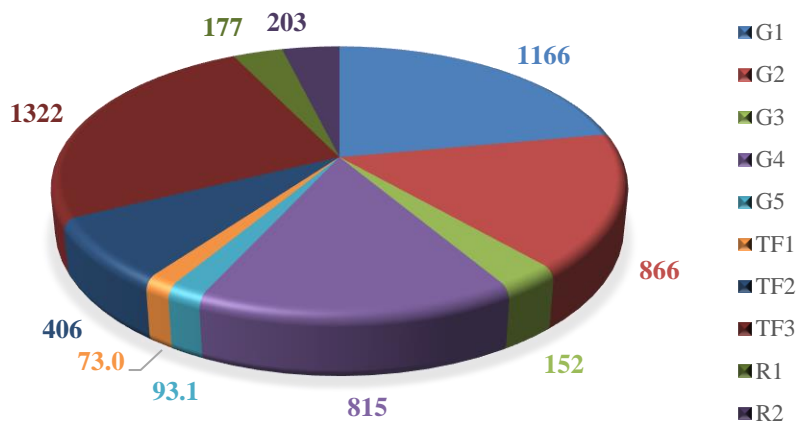


Figura 5.1. Contenidos totales (mg/L) de alcoholes superiores en los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Los alcoholes mayoritarios cuantificados en los vinos fueron 2-feniletanol, 3-metilbutanol y 2-metilpropanol, cuyos contenidos se representan en la Figura 5.2. Según diversos autores (Boido *et al.*, 2003; Gambaro *et al.*, 2001; Šehović *et al.*, 2007) estos alcoholes pueden provenir de las uvas, aunque principalmente son definidos como productos secundarios de la fermentación alcohólica. Para el 2-feniletanol, los contenidos se encontraron entre 5.30 mg/L (G4) y 147 mg/L (G2) en vinos de uva, entre 21.3 mg/L (TF1) y 112 mg/L (TF3) para los vinos de frutas tropicales y con valores de 24.2 mg/L y 169 mg/L para los vinos de arroz R2 y R1, respectivamente. Este compuesto aparece de manera mayoritaria en gran cantidad de vinos y contribuye con aromas florales (Cao *et al.*, 2010; Dellacassa *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2012); lo cual puede ser considerado como un carácter positivo en los vinos. Estudios realizados por Luo *et al.*, (2008) en vinos de arroz reportan que el 2-feniletanol es uno de los mayoritarios; aunque los valores cuantificados por estos autores fueron inferiores a los obtenidos en los vinos cubanos.

Por otro lado, como puede observarse en la Figura 5.2, el 3-metilbutanol alcanzó los contenidos más altos en todos los vinos excepto para el vino R1, donde no fue identificado. Los valores de concentración más elevados para este alcohol se obtuvieron en los vinos TF3 y G1 (1184 y 1021 mg/L, respectivamente). Este compuesto a elevadas concentraciones aporta aromas químicos que recuerdan a disolventes (Siebert *et al.*, 2005). Por último, para el 2-metilpropanol, con aromas a alcoholes de fusel, los rangos de valores oscilaron entre 0.898 mg/L (G3) a 75.1 mg/L (G4) en los vinos de uva, entre 0.865 (TF1) y 29.9 mg/L (TF2) para los vinos de frutas; mientras que para los vinos de arroz R1 y R2 los valores fueron de 4.75 y 7.03 mg/L, respectivamente. Los vinos de uva G1 y G4, elaborados ambos con mezcla de uva Aramón y Cimarrona, mostraron las concentraciones más altas de este compuesto, aunque inferiores a los contenidos mostrados por los otros dos alcoholes mayoritarios comentados anteriormente.

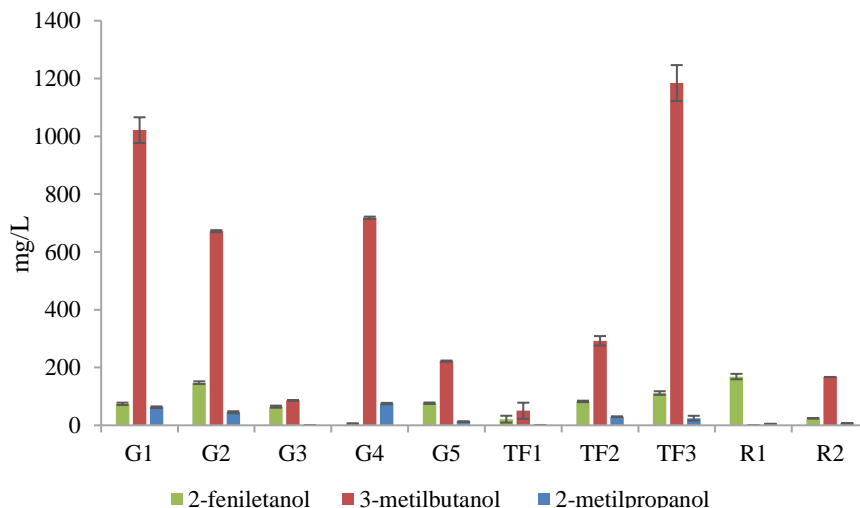


Figura 5.2. Concentración (mg/L) de los alcoholes superiores mayoritarios de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.2. ÉSTERES

Los ésteres son parte del grupo de moléculas responsables del aroma afrutado y floral de los vinos, y son producidos principalmente por las levaduras durante la fermentación alcohólica. En los vinos analizados se identificaron dieciséis ésteres (Tabla A15), en concreto, acetatos (de isoamilo, acetoacetato de etilo y acetato de 2-feniletanol), ésteres etílicos (hexanoato, lactato, 3-hidroxibutanoato, benzoato, 4-hidroxibutanoato, dihidroxicinamato y succinato), ésteres dietílicos (succinato, malato, 2-hidroxiglutanoato y tartrato) y otros ésteres como 3-hidroxibutanoato de metilo, y el isobutanoato de bencilo. Diversos autores señalan que la formación de ésteres es clave en el aroma de vinos, fundamentalmente en los vinos elaborados con uvas y frutas (Dellacassa *et al.*, 2017; Jagtap & Bapatn., 2015; Nykänen, 1986; Ortega & Pino, 1997; Perestrelo *et al.*, 2006; Pino & Queris, 2012). Su síntesis, se produce enzimáticamente durante la fermentación alcohólica, y su concentración depende de factores como la cepa de levadura, la temperatura de fermentación, grado de aireación y contenido en azúcares del mosto (Dellacassa *et al.*, 2017; Nykänen, 1986; Perestrelo *et al.*, 2006; Ugliano & Henschke., 2009).

En los vinos de uva se cuantificaron entre 5 (G2) y 9 (G3) ésteres, en los de frutas 10 ésteres en TF2 y 8 en TF1 y TF3, y en los vinos de arroz se identificaron 6 y 8 ésteres en R1 y R2, respectivamente. Los contenidos totales de esta familia de compuestos se muestran en la Figura 5.3, donde los vinos de uva abarcan un rango entre 118 mg/L (G3) y 670 mg/L (G2), en los vinos de fruta entre 69.7 mg/L (TF1) a 510 (TF3) mg/L y en los vinos de arroz son 91.3 mg/L (R2) y 895 mg/L (R1). Concretamente, los vinos de uva, G3 y G5, elaborados únicamente con uva Aramón, presentaron las concentraciones más bajas de esta familia. En este sentido, la uva Aramón parece presentar un contenido menor de estos metabolitos en comparación con la uva Cimarrona, dado que los vinos que se elaboraron con esta última, parcialmente o en su totalidad, alcanzaron concentraciones de ésteres totales más elevadas. En los vinos de frutas, destaca el valor tan elevado que presentó el vino TF3, elaborado con mezcla de frutas pasificadas, este hecho es debido a que durante el proceso de pasificación los metabolitos experimentan una concentración por el proceso de evaporación del agua. El vino de papaya (TF2) presentó un valor intermedio, alcanzando contenidos superiores a 200 mg/L de ésteres totales, siendo el vino donde mayor número de ésteres se cuantificaron (Tabla A15). En este sentido Lee *et al.* (2013), en un estudio de vinos de papaya indica que la familia de ésteres es numerosa y es la segunda más importante después de la familia de los alcoholes superiores. Por último, los vinos de arroz mostraron concentraciones muy diferentes, siendo la del vino R1 casi 10 veces superior al vino R2. Sin embargo, estos resultados están de acuerdo con los obtenidos con Cao *et al.*, (2010) que encontraron valores muy dispares en función del tiempo de fermentación y del tipo de elaboración, ya que los ésteres son principalmente producidos mediante esterificación de los ácidos grasos o a través de la síntesis en las células de las levaduras (Erten *et al.*, 2007; Nykänen, 1986; Perestrelo *et al.*, 2006; Ugliano & Henschke., 2009).

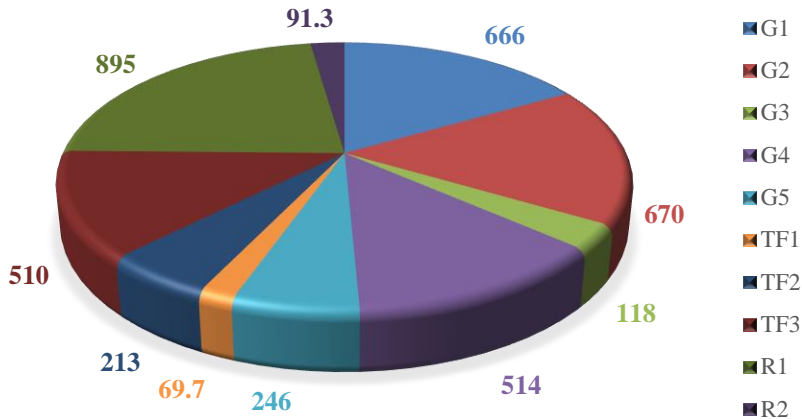


Figura 5.3. Contenidos totales (mg/L) de ésteres en los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

De todos los ésteres destacan succinato de dietilo, lactato de etilo y succinato de etilo con valores superiores a 4 mg/L, 5 mg/L y 44 mg/L, respectivamente en todos los vinos analizados; a excepción del lactato de etilo en el vino G4 donde no fue detectado (Figura 5.4). Estos compuestos representaron más del 98% del total de ésteres para los vinos de uva, más del 97% para los vinos de frutas tropicales y más del 80% para los vinos de arroz.

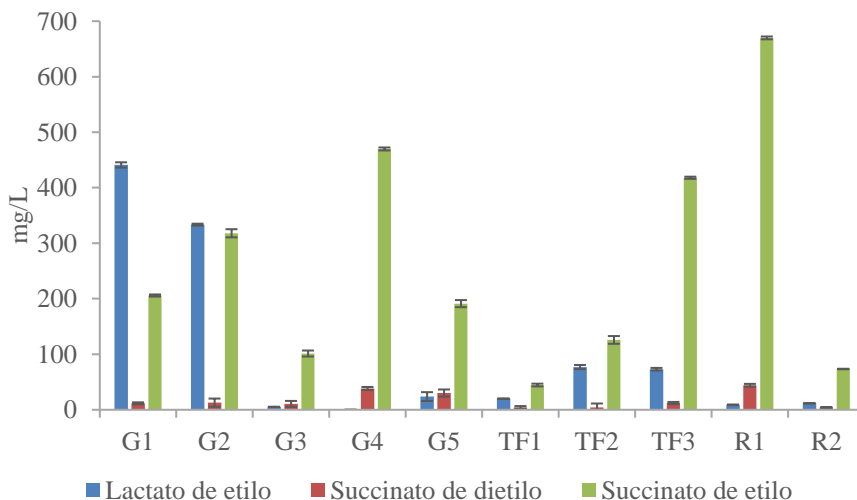


Figura 5.4. Concentración (mg/L) de los ésteres mayoritarios de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Como puede observarse, el succinato de etilo es el éster mayoritario en todos los vinos, excepto en los vinos G1 y G2, donde la concentración más alta corresponde al lactato de etilo. Destacan las altas concentraciones, superiores a 400 mg/L, en los vinos G4, TF3 y R1; en el caso de los dos primeros, éstos fueron elaborados mediante pasificación de las materias primas empleadas. Este proceso de deshidratación parece influir más acusadamente en este éster que en el resto. Se ha demostrado que las diferentes técnicas de deshidratación de las frutas afectan significativamente a la concentración de compuestos del aroma entre los que se encuentran los ésteres, debido a la pérdida de agua por evaporación durante el secado. En este sentido, Budic-Leto *et al.* (2020) observa diferencias significativas para los ésteres al pasificar uvas durante la elaboración de vinos. En relación con el lactato de etilo, sólo los vinos G1 y G2 mostraron concentraciones superiores a 300 mg/L aportando a estos vinos aromas lácteos intensos (Jagatić *et al.*, 2020). En los vinos de arroz, los contenidos alcanzados para este compuesto fueron bajos, mucho menores a los obtenidos en vinos de arroz chino por otros autores (Cao *et al.*, 2010). Aunque cabe señalar que en otros vinos de arroz chino este éster ni siquiera es cuantificado (Mo *et al.*, 2009). Por último, el succinato de dietilo, con aromas descritos como uva madura y/o fruta sobremadura, fue el segundo en importancia aromática en los vinos G4, G5 y R1 dado que sus concentraciones fueron superiores a 30 mg/L. Autores como Cao *et al.*, (2010) en estudios realizados en vinos de arroz chino, también indican que este éster junto con el lactato y acetato de etilo son los compuestos mayoritarios con un alto peso en el contenido total de ésteres.

2.3. COMPUESTOS FENÓLICOS

Esta familia de compuestos del aroma se origina mayoritariamente durante la fermentación alcohólica por descarboxilación enzimática de ácidos fenólicos. Su concentración depende en gran medida de la madurez de la fruta, el tiempo de maceración, la cepa de levadura, así como de otros factores que favorezcan la hidrólisis de precursores fenólicos. Generalmente estos compuestos a concentraciones no muy elevadas aportan aromas especiados, herbáceos o fenólicos. Como se muestra en la Tabla A16, se identificaron un total de 7 compuestos fenólicos, tales como: 4-etilfenol, siringol, alcohol hidroxicinámico, etil vanillina, vanillina, triptofol y tirosol. En los vinos estudiados el número de fenoles identificados osciló entre 2 en el vino R1 y 4 en los vinos G1 y TF3. El único fenol cuantificado en todos los vinos fue el tirosol.

En la Figura 5.5, se muestra el contenido total de compuestos fenólicos en los vinos de estudio. Se observa que en los vinos de uva el contenido total osciló entre 12.8 mg/L (G3) y 191 mg/L (G4), esta diferencia tan acusada en estos contenidos puede estar relacionado con el proceso de pasificación al que son sometidas las uvas previamente a la obtención del mosto y que puede provocar una concentración parcial de metabolitos. En los vinos de frutas los valores oscilaron entre 3.38 mg/L (TF1) y 92.3 mg/L (TF2). Estos resultados son similares a los reportados por Boido *et al.* (2003) y Pino & Queris (2012) que también cuantifican valores muy variados en vinos de frutas tropicales, argumentando que dependen en gran medida de la materia prima empleada. Por último, los vinos de arroz mostraron valores de 3.99 mg/L (R2) y 32.3 mg/L (R1). Esta diferencia puede ser debida a que el arroz empleado en el vino R2 es sometido a un proceso de tostado que puede provocar la pérdida de los fenoles volátiles. Sin

embargo, los contenidos totales en fenoles de los vinos de arroz cubanos estudiados fueron más altos que los encontrados en diferentes vinos de arroz chino por Xiao *et al.* (2015).

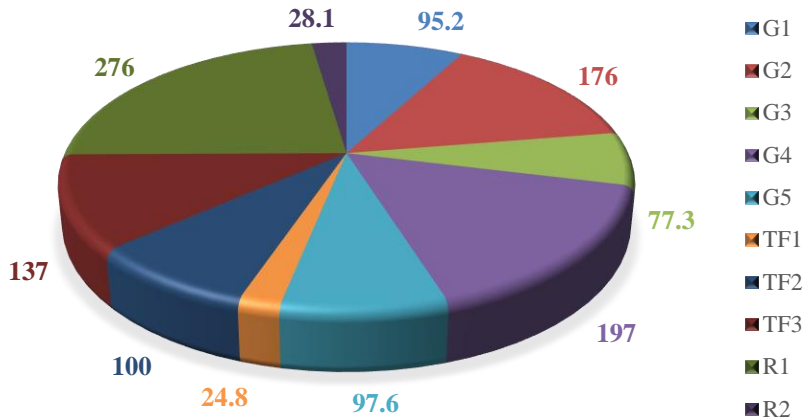


Figura 5.5. Contenidos totales (mg/L) de compuestos fenólicos de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Como se mencionó con anterioridad, el único fenol identificado en todos los vinos fue el tirosol, siendo además uno de los mayoritarios (Figura 5.6). Este fenol aporta aromas a pan tostado, ahumado y clavo (Shinohara, 1985). El intervalo de concentración encontrado en los vinos de uva varió entre 10.3 mg/L (G3) y 27.8 mg/L (G2). En los vinos de frutas tropicales el intervalo se encontró entre 2.97 mg/L (TF1) a 17.8 mg/L (TF3) y para los vinos de arroz los valores fueron 3.69 mg/L y 32.3 mg/L para R2 y R1, respectivamente. Como puede observarse los vinos G2 (uva Cimarrona) y R1 (arroz) mostraron los niveles más altos de concentración para este fenol con contenidos superiores a 25 mg/L, por el contrario, TF1 (frutilla) y R2 (arroz tostado) mostraron valores muy bajos inferiores a 4 mg/L. En este sentido Jagatic *et al.* (2020) cuantifica este compuesto fenólico en 30 vinos croatas observando valores muy diferentes entre ellos.

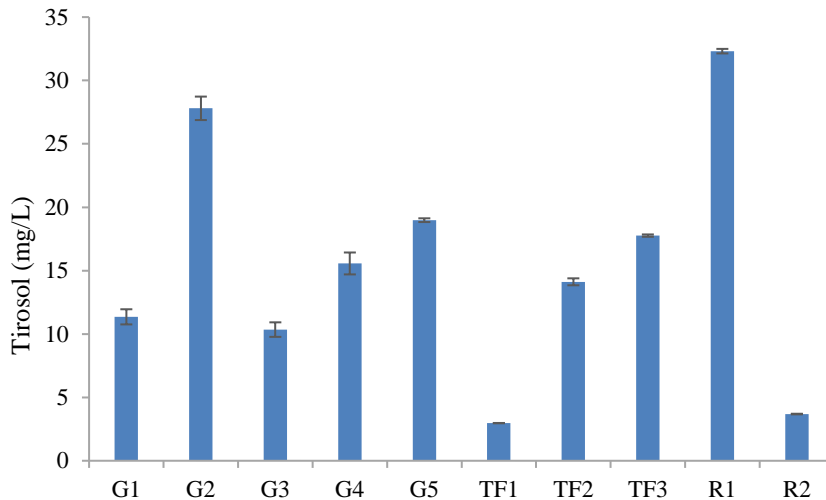


Figura 5.6. Concentración (mg/L) de tiroso de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.4. ÁCIDOS

Los ácidos grasos son producidos en su mayoría por las levaduras y bacterias durante el proceso de fermentación alcohólica y/o maloláctica. La concentración de estos ácidos es muy dependiente del tiempo de envejecimiento y del proceso de elaboración empleado en la vinificación de los vinos. Están asociados a olores a queso, notas grasas y rancias (Li *et al.*, 2006; Mato *et al.*, 2005; Rocha *et al.*, 2004). A altas concentraciones pueden aportar aromas desagradables al vino, principalmente los ácidos grasos de cadena corta (Cao *et al.*, 2010).

En los vinos estudiados se identificaron 6 ácidos (isobutanóico, butanoico, hexanoico, octanoico, decanoico y linoléico) (Tabla A17) aunque no todos fueron cuantificados en todos los vinos. Se puede observar que los ácidos hexanoico y octanoico fueron detectados en todos los vinos de uva y frutas tropicales. Mientras que en los vinos de arroz destaca la baja presencia de ácidos, debido a que únicamente se detectó el ácido hexanoico en el vino R1. En este sentido, la bibliografía muestra resultados muy dispares en cuanto número de ácidos identificados en vinos de arroz chinos, siendo los ácidos de cadena media y larga los más frecuentemente detectados (Cao *et al.*, 2010; Mo *et al.*, 2009).

La Figura 5.7 muestra los contenidos totales de los ácidos analizados en los vinos. Como puede observarse, en los vinos elaborados con uvas, los valores oscilaron entre 0.279 mg/L (G3) y 125 mg/L (G4), en los de frutas tropicales entre 0.395 mg/L (TF1) y 11.3 mg/L (TF2) y por último el vino R1 con 0.691 mg/L. El alto contenido en el vino de uva G4, como ya se ha explicado anteriormente, puede ser debido a que durante el proceso de vinificación las uvas fueron deshidratadas mediante soleo. Además, cabe

señalar, que los vinos de papaya (TF2) y de mezcla de frutas pasificadas (TF3) presentaron concentraciones totales de ácidos superiores a 10 mg/L. En ambos vinos, esta alta concentración está íntimamente relacionada con los altos contenidos de ácidos presentes en la fruta de papaya como señalan autores como Ortega & Pino (1997) y TNO (1996).

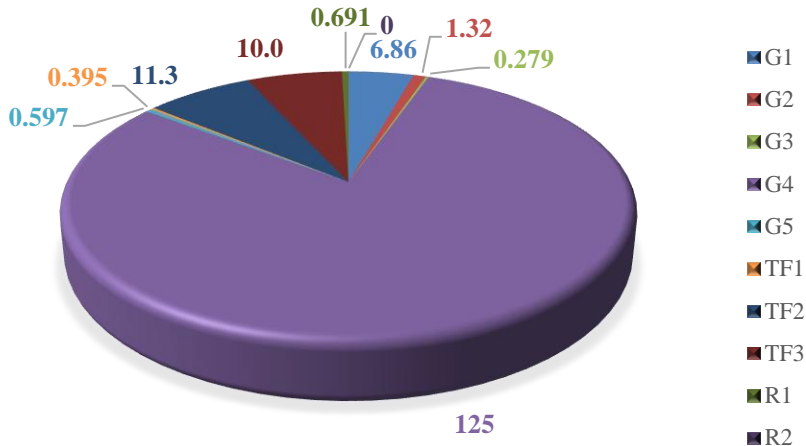


Figura 5.7. Contenidos totales (mg/L) de ácidos en los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Los ácidos mayoritarios detectados fueron el ácido hexanoico y el ácido octanoico (Figura 5.8). Diferentes autores también señalan a estos dos ácidos como los mayoritarios en vinos de uvas, de frutas e incluso en vinos de arroz (Jagatic *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2013; Xiao *et al.*, 2015). Estos ácidos a concentraciones superiores a su umbral de percepción presentan aromas a rancio y queso (Zhao *et al.*, 2017). En el caso del ácido hexanoico, se observa en el vino G4 la máxima concentración (123 mg/L); la cual es significativamente superior a los valores obtenidos en el resto de los vinos, que no superaron los 1.6 mg/L. Este hecho era de esperar, ya que como se ha comentado anteriormente este vino está elaborado con uvas deshidratadas. A excepción del G4 en los vinos de uva restantes, los valores oscilaron entre 0.142 y 1.56 mg/L, en G3 y G1 respectivamente. En los vinos de frutas tropicales TF1 y TF2 se observaron valores similares y próximos a 0.100 mg/L, 10 veces inferiores a los del vino TF3, elaborado con frutas deshidratadas. El vino R1 mostró una concentración de 0.691 mg/L, valor que se encuentra en el mismo rango que lo reportado por Xiao *et al.* (2015) y Cao *et al.* (2010) en vinos de arroz chino.

Por último, el ácido octanoico, presentó las mayores concentraciones en los vinos G1 (2.09 mg/L), G4 (1.89 mg/L) y TF3 (1.82 mg/L) mientras que en el resto de los vinos analizados presentó contenidos inferiores a 1 mg/L. En los vinos de arroz, este compuesto volátil no fue detectado; sin embargo, en estudios realizados en vinos de arroz chino si lo fue (Mo *et al.*, 2009). Autores como Pino & Queris (2012), Boido, *et*

al. (2003) y Dellacassa *et al.* (2017) también señalan a este ácido como uno de los mayoritarios en vinos elaborados con diferentes materias primas.

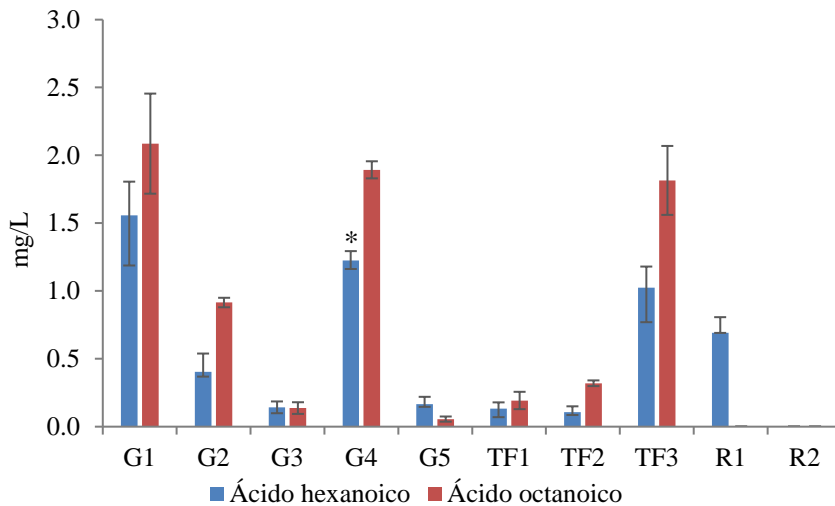


Figura 5.8. Concentración (mg/L) de los ácidos mayoritarios de los vinos analizados. *se ha dividido la concentración del ácido hexanoico del vino G4 por 100 para ajustar los datos de la gráfica.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.5. ALDEHÍDOS

Los aldehídos suelen estar presentes en los vinos en bajas concentraciones, sin embargo, pueden contribuir al equilibrio y la complejidad del aroma de estos (Yang *et al.*, 2009). En los vinos analizados se identificaron cinco aldehídos: hexanal, furfural, benzaldehído, 5-hidroximetilfurfural y *p*-hidroxibenzaldehído (Tabla A18), excepto en el vino elaborado con frutilla (TF1) donde no se cuantificó ninguno de ellos. Además, no todos los compuestos fueron identificados en todos los vinos, siendo el máximo de aldehídos cuantificados de 3 en los vinos G1, G2, G3 y TF3.

La Figura 5.9 representa el total de los aldehídos identificados en los vinos estudiados. Se observa que los contenidos totales de esta familia de compuestos variaron en los vinos de uva desde 0.351 mg/L para G5 a 5.59 mg/L para G1. En este tipo de vinos, otros autores han encontrado un rango de concentraciones entre 0.281 y 1.90 mg/L, ligeramente inferior (Jagatic *et al.*, 2020). En los vinos de frutas tropicales los valores alcanzados fueron de 0.480 mg/L (TF2) y 190 mg/L en el vino TF3. Este último vino, destaca por sus altos contenidos en esta familia de compuestos del aroma; lo cual, podría estar relacionado con las diferentes frutas tropicales empleadas en su elaboración. Los bajos valores obtenidos para el vino de papaya (TF2) están en concordancia con los valores obtenidos por Pino & Queris (2012), que señalan que esta familia de compuestos es minoritaria en los vinos elaborados con esta fruta tropical. Por último, en los vinos de arroz el contenido total de estos compuestos presentó valores

de 0.347 mg/L (R2) y 20.0 mg/L (R1). Otros autores identifican un mayor número de aldehídos en vinos de arroz chino, detectando hasta 9 aldehídos, con concentraciones muy variables entre los vinos con diferentes procesos de elaboración (Cao *et al.*, 2010; Xiao *et al.*, 2015). En dichos estudios los valores totales máximos fueron de 15 y 19 mg/L, ligeramente inferiores a los valores máximos alcanzados en el vino de arroz cubano R2.

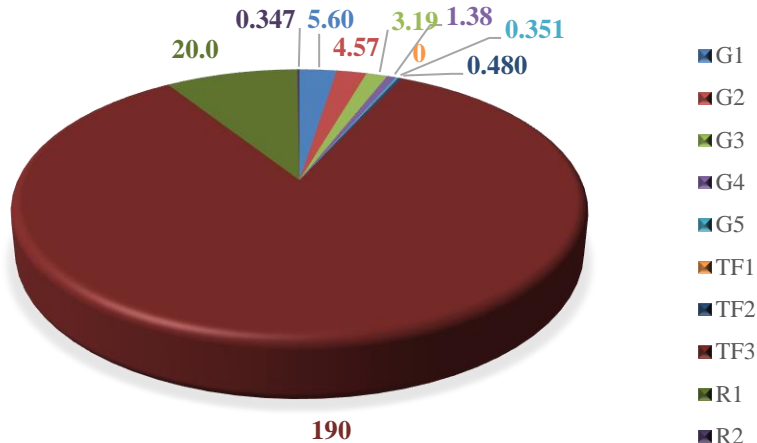


Figura 5.9. Contenidos totales (mg/L) de aldehídos en los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Los compuestos que se encontraron en mayor concentración en los vinos estudiados fueron el furfural y 5-hidroximetilfurfural (Figura 5.10). En el caso del furfural, fue detectado en todos los vinos de uva, pero con concentraciones muy variables siendo los más altos los encontrados en los vinos elaborados con mezcla de uva Aramón y Cimarrona fresca y con *Botrytis cinérea* (G1 y G4). En los vinos de frutas tropicales este aldehído únicamente fue cuantificado en el vino de papaya (TF2) cuya concentración no superó los 0.5 mg/L. Otros autores en vinos de papaya no detectan este compuesto (Lee *et al.*, 2013). Por último, para los vinos de arroz este compuesto se cuantificó solamente en el vino R2 (0.125 mg/L) siendo estos valores significativamente más bajos que los reportados en vinos de arroz chino donde los valores de este compuesto superan 1.5 mg/L (Cao *et al.*, 2010). Los valores más altos del 5-hidroximetilfurfural fueron encontrados en el vino elaborado con mezcla de frutas pasificadas (TF3), con un valor de 33.9 mg/L. En segundo lugar, destaca, el contenido de este aldehído en el vino R1, 19.1 mg/L. Este compuesto no ha sido detectado en vinos de arroz chino por otros autores como Mo *et al.* (2009), Cao *et al.* (2010) y Xiao *et al.* (2015). Por último, los valores más bajos fueron encontrados en los vinos de uva, G1, G2 y G3, que no superaron 4.5 mg/L. Otros autores como Jagatic *et al.* (2020) en vinos de uva croatas detectaron este compuesto, incluso a concentraciones inferiores a 1 mg/L.

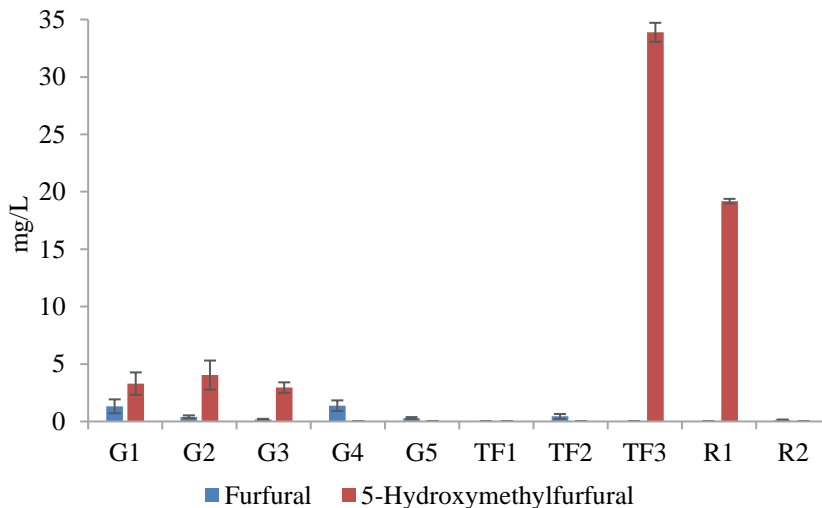


Figura 5.10. Concentración (mg/L) de los aldehídos mayoritarios de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.6. TERPENOS

Los terpenos son compuestos volátiles presentes en muchas frutas y sus derivados (Ortega & Pino, 1997; TNO, 1996; Winterhalter, 1991). Estos compuestos se asocian con aromas florales y cítricos (Etiévant, 1991; Guth, 1997).

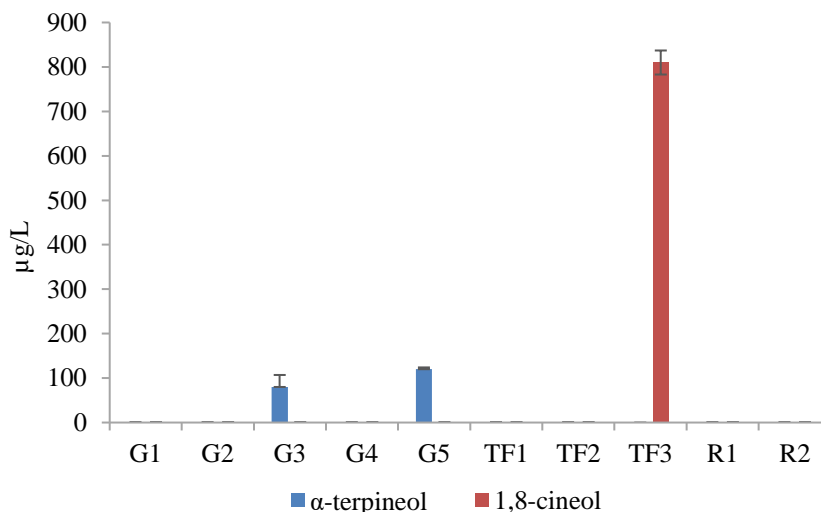


Figura 5.11. Concentración (µg/L) de los terpenos de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Como puede observarse en la Figura 5.11, en los vinos analizados se detectaron dos terpenos el α -terpineol y el 1,8-cineol (Tabla A19), mientras que autores como, Fariña *et al.* (2015), Boido *et al.* (2003) identificaron en vinos un mayor número de terpenos, lo que viene a confirmar que estos compuestos son aromas primarios y que proceden mayoritariamente de la materia prima empleada en la elaboración de los vinos.

El α -terpineol sólo se cuantificó en los vinos elaborados únicamente con uva Aramón (G3 y G5) con concentraciones de 80 y 120 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. El 1,8-cineol sólo estuvo presente en el vino elaborado con mezcla de fruta tropicales y uvas (TF3) alcanzando una concentración de 810 $\mu\text{g/L}$. En el resto de los vinos analizados no se detectó la presencia de estos compuestos. Sin embargo, algunos autores cuantifican contenidos apreciables de terpenos en vinos de arroz (Mo *et al.*, 2009).

2.7. CETONAS

El origen de las cetonas es muy variado ya que, aunque son típicas de los vinos con crianza en bodega, algunos autores las han detectado en vinos blancos sin crianza, por lo que su aparición en el vino podría tener otro origen (Schreier *et al.*, 1974). En los vinos cubanos se cuantificaron cuatro cetonas (Tabla A20) 3-penten-2-ona, acetoína, 2-furilmetilcetona y benzopiranona. Autores como Wei *et al.* (2018), Lee *et al.* (2012) en vinos de papaya y Xiao *et al.* (2015) en vinos de arroz, cuantificaron un número variable cetonas dependiendo de la materia prima empleada. La Figura 5.12 muestra los valores de concentración total de esta familia de compuestos. En los vinos G4 y TF1 no se identificó ninguna cetona.

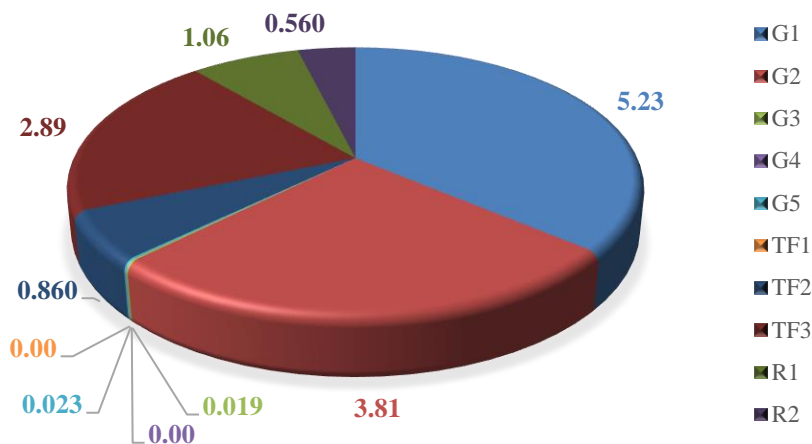


Figura 5.12. Contenidos totales de cetonas (mg/L) en los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis 193inérea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis 193inérea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis 193inérea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Los valores obtenidos para el resto de los vinos oscilaron entre 0.019 mg/L (G3) y 5.23 (G1) para los vinos de uva, en los vinos de frutas tropicales los valores obtenidos fueron 0.860 mg/L (TF2) y 2.89 mg/L (TF3). Por último, en los vinos de arroz se obtuvieron concentraciones de 1.06 y 0.560 mg/L para los vinos R1 y R2, respectivamente.

La 3-penten-2-ona, solamente estuvo presente en el vino de uva G2 (variedad Cimarrona) con una concentración de 2773 $\mu\text{g/L}$, mientras que la benzopirranona fue detectada sólo en el vino de arroz R1, con una concentración de 1062 $\mu\text{g/L}$. El compuesto 2-furilmetilcetona se detectó en los vinos elaborados únicamente con uva Aramón (G3, G5) y en el vino TF3 con concentraciones de 19, 23 y 639 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. Por otro lado, la acetoína estuvo presente en todos los grupos de vinos analizados (uva, frutas tropicales y arroz) a una concentración superior a 500 $\mu\text{g/L}$ (Figura 5.13). Este compuesto es sintetizado por las levaduras mediante diferentes vías metabólicas, siendo la cepa de levadura el factor más influyente en el contenido de este compuesto seguido por otros factores como el tiempo y la temperatura de fermentación, la materia prima y el estado de madurez de la fruta (Moreno, 2005). Destaca la concentración alcanzada en el vino de uva G1 (5227 $\mu\text{g/L}$), superior a los obtenidos en vinos con otras variedades de uva como Chardonnay y Pinot Noir, donde se obtienen valores máximos de 3 mg/L (Jagatic *et al.*, 2020). De los vinos de frutas tropicales destacó el vino elaborado con mezcla de frutas (TF3) con valores ligeramente superiores a 2000 $\mu\text{g/L}$, mientras que el vino de papaya (TF2) presentó contenidos similares a los del vino elaborado con uva Cimarrona (G2). Otros autores también han detectado este compuesto en vinos elaborados con papaya (Lee *et al.*, 2013). Por último, el vino R2 presentó los contenidos más bajos (560 $\mu\text{g/L}$), similares a los obtenidos en algunos vinos de arroz chino (Xiao *et al.*, 2015).

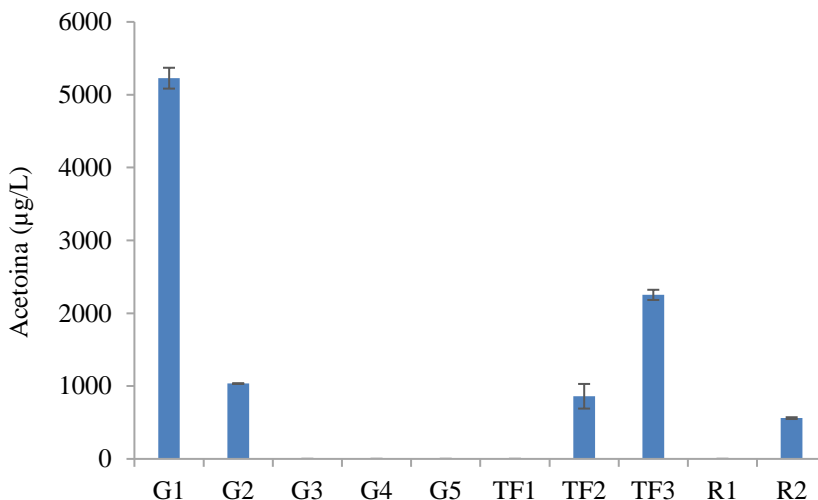


Figura 5.13. Concentración ($\mu\text{g/L}$) de acetoína de los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.8. LACTONAS

Las lactonas se obtienen de la esterificación intramolecular de los hidroxiacidos y, en los vinos. Generalmente, las más abundantes son las γ -lactonas que proceden de los 4-hidroxiacidos. Estos compuestos han sido identificados en uvas con *Botrytis cinerea* y en el velo de flor; pero la mayoría de ellos se originan durante la fermentación alcohólica (Bayonove, 2003). Sin embargo, otros estudios también han identificado δ -lactonas conocidas como massoia lactonas, que engloban un grupo de compuestos de 10, 12 y 14 carbonos, siendo la C10 la más común en mostos y vinos con notas aromáticas que recuerdan a coco e higos secos (Pons *et al.*, 2017).

En la Figura 5.14 (Tabla A21) se muestran las concentraciones de las lactonas cuantificadas en los vinos cubanos estudiados, encontrándose únicamente γ -butirolactona, γ -decalactona y massoia lactona. Como puede observarse, la γ -butirolactona fue la mayoritaria, cuantificándose en todos los vinos con concentraciones muy variables. En este sentido, en los vinos de uva se encontraban entre 189 y 5238 $\mu\text{g/L}$ en G3 y G4 respectivamente, en los vinos elaborados con frutas tropicales entre 230 y 3361 $\mu\text{g/L}$ en TF1 y TF2 respectivamente. Pino & Queris (2012) identificaron 5 tipos de lactonas en vino cubano de papaya que representaron el 0.02% de la composición volátil total de estos vinos. Por último, los vinos de arroz mostraron valores muy dispares de 3690 $\mu\text{g/L}$ en R1 y 822 $\mu\text{g/L}$ en R2. Mo *et al.* (2009) no identifica esta lactona en vinos de arroz chinos, cuantificando únicamente la γ -nonalactona. Por otro lado, la γ -decalactona se cuantificó únicamente en dos vinos, G5 y TF3 con concentraciones de 488 y 366 $\mu\text{g/L}$, respectivamente, mientras que la massoia lactona, sólo se detectó en el vino G3 en una concentración de 147 $\mu\text{g/L}$. Esto estaría de acuerdo con los resultados obtenidos en vinos Tokaj y Sauternes elaborados también con uvas con *Botrytis cinerea*, así como en vinos de Madeira donde esta lactona fue identificada (Miklósy & Kerényi, 2003; Sarrazin *et al.*, 2007).

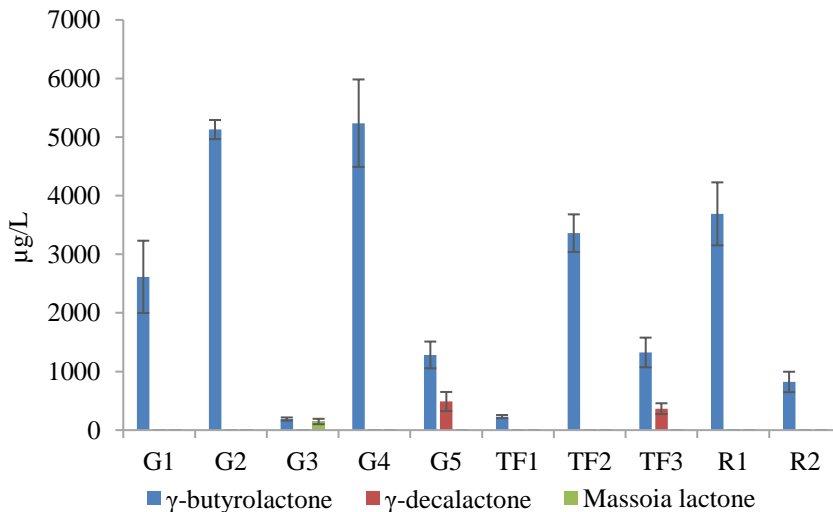


Figura 5.14. Concentración ($\mu\text{g/L}$) de lactonas en los vinos analizados.

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

3. CONCLUSIONES

1. Se han identificado 8 familias de compuestos químicos, siendo alcoholes, ésteres y compuestos fenólicos mayoritarios y ácidos, aldehídos, terpenos, cetonas y lactonas las minoritarias.
2. Los contenidos en compuestos del aroma presentaron valores muy dispares debido a las diferentes materias primas empleadas y a las distintas técnicas de vinificación usadas durante la elaboración de los vinos cubanos.
3. De las familias de compuestos mayoritarios, únicamente 2-feniletanol, 2-metilpropanol, succinato de etilo y de dietilo y tirosol fueron cuantificados en todos los vinos estudiados.
4. De las familias de compuestos minoritarios únicamente la γ -butirolactona fue cuantificada en todos los vinos estudiados. Además, los ácidos hexanoico y octanoico se cuantificaron en todos los vinos elaborados con uvas y con frutas tropicales.

4. REFERENCIAS

- Armanino, C., Casolino, M. C., Casale, M., & Forina, M. (2008). Modelling aroma of three Italian red wines by headspace-mass spectrometry and potential functions. *Analytica Chimica Acta*, *614*, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.03.025>
- Bayonove, C. (2003). El aroma varietal: El potencial aromático de la uva. En: *Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos*. Flancy, C. (ed.), Ed. AMV Ediciones y Mundi Prensa, Madrid (España).
- Blanch, P., Reglero, G., & Herraiz, M. (1996). Rapid extraction of wine aroma compounds using a new simultaneous distillation-solvent extraction device. *Food Chemistry*, *56*, 439–444.
- Boido, E. D., Lloret, A., Medina, K., Farina, L., Carrau, F., Versini, G., Dellacassa, E., Fariña, L., & Dellacassa, E. (2003). Aroma composition of vitis vinifera cv. Tannat: the typical red wine from Uruguay. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *51*, 5408–5413.
- Boido, E., Fariña, L., Carrau, F., Dellacassa, E., & Cozzolino, D. (2013). Characterization of glycosylated aroma compounds in Tannat grapes and feasibility of the near infrared spectroscopy application for their prediction. *Food Analytical Methods*, *6*, 100–111.
- Budić-Leto, I., Humar, I., Gajdoš Kljusurić, J., Zdunić, G., & Zlatić, E. (2020). Free and bound volatile aroma compounds of Maraština grapes as influenced by dehydration techniques. *Applied Science*, *10*, 1–14. <https://doi.org/doi:10.3390/app10248928>
- Cao, Y., Xie, G., Wu, C., & Lu, J. (2010). A study on characteristic flavor compounds in traditional chinese rice wine-Guyue Longshan rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, *116*, 182–189. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00416.x>

- Castro, M., Natera, R., Garcí, M. V., & García, C. (2003). Optimization of headspace solid- phase microextraction for the analysis of volatile phenols in wine. *Journal of Chromatography A*, *995*, 11–20.
- Chen, S., & Xu, Y. (2010). The influence of yeast strains on the volatile flavour compounds of chinese rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, *116*, 190–196. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00417.x>
- Dellacassa, E., Trenchs, O., Fariñas, L., Debernardis, F., Perez, G., Boido, E., & Carrau, F. (2017). Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) wine production in Angola: characterisation of volatile aroma compounds and yeast native flora. *International Journal of Food Microbiology*, *241*, 161-167.
- Duarte, W. F., Dias, D. R., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., de Almeida e Silva, J. B., & Schwan, R. F. (2010). Characterization of different fruit wines made from cacao, cupuassu, gabirola, jaboticaba and umbu. *LWT-Food Science and Technology*, *43*, 1564–1572. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.010>
- Erten, H., Tanguler, H., & Cakiroz, H. (2007). The effect of pitching rate on fermentation and flavour compounds in high gravity brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, *113*, 75–79.
- Escudero, A., Campo, E., Fariña, L., Cacho, J., & Ferreira, V. (2007). Analytical characterization of the aroma of five premium red wines. Insights into the role of odor families and the concept of fruitiness of wines. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *55*, 4501–4510.
- Etiévant, P. X. (1991). Wine. In: *Volatile Compounds of Food and Beverages*. Maarse, H. (ed.). Ed. *Marcel Dekker Inc*. New York (USA).
- Fariña, L., Villar, V., Ares, G., Carrau, F., Dellacassa, E., & Boido, E. (2015). Volatile composition and aroma profile of Uruguayan Tannat wines. *Food Research International*, *69*, 244–255.
- Ferreira, V., Escudero, A., Fernández, P., & Cacho, J. F. (1997). Changes in the profile of volatile compounds in wines stored under oxygen and their relationship with the browning process. *European Food Research and Technology*, *205*, 392–396.
- Gambaro, A., Boido, E., Zlotejablko, A., Medina, K., Lloret, A., Dellacassa, E., & Carrau, F. (2001). Effect of malolactic fermentation on the aroma properties of Tannat wine. *Australian Journal of Grape and Wine Reserach*, *7*, 27-32.
- García-Carpintero, E., Sánchez-Palomo, E., & González-Viñas, M. A. (2011). Aroma characterization of red wines from cv. Bobal grape variety grown in La Mancha region. *Food Research International*, *44*, 61–70.
- Guth, H. (1997). Identification of character impact odorants of different white wine varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*, 3022–3026.
- Jagatić, A., Preiner, D., Tomaz, I., & Jeromel, A. (2020). Volatile profile characterization of Croatian. *Molecules*, *25*, 1–24.
- Korenika, A. J., Tomaz, I., Preiner, D., Lavrić, M., Šimić, B., & Jeromel, A. (2021).

Influence of *L. thermotolerans* and *S. cerevisiae* commercial yeast sequential inoculation on aroma composition of red wines (cv Trnjak, Babic, Blatina and Frankovka). *Fermentation*, 7, 1–20.

Jagtap, U., & Bapat., V. (2015). Wines from fruits other than grapes: current status and future prospectus. *Food Bioscience*, 9, 80–96.

Jiang, B., Xi, Z., Luo, M., & Zhang, Z. (2013). Comparison on aroma compounds in Cabernet Sauvignon and Merlot wines from four wine grape-growing regions in China. *Food Research International*, 51, 482–489.

Karasek, P., Planeta, J., Varadova, E., Mikesova, M., Golias, J., Roth, M., & Vejrosta, J. (2003). Direct continuous supercritical fluid extraction as a method of wine analysis. Comparison with conventional indirect extraction and implications for wine variety identification. *Journal of Chromatography A*, 1002, 13–23.

Lee, P., Chong, I., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2012). Effects of sequentially inoculated *Williopsis saturnus* and *Saccharomyces cerevisiae* on volatile profiles of papaya wine. *Food Research International*, 45, 177–183.

Lee, P. R., Chong, I., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2013). Effect of precursors on volatile compounds in papaya wine fermented by mixed yeasts. *Food Technology and Biotechnology*, 51, 92–100.

Levy, J. M. (2000). Supercritical fluid sample preparation: a selective extraction strategy. *LC-GC Europe*, 13, 174–181.

Li, H., Tao, Y. S., Kang, W. H., & Yin, C. L. (2006). Wine aroma analytical investigation progress on GC (review). *Food Science and Biotechnology*, 25, 99–104.

Liu, Y. D., & Ying, Y. B. (2005). Use of FT-NIR spectrometry in noninvasive measurements of internal quality of ‘Fuji’ apples. *Postharvest Biology and Technology*, 37, 65–71.

Lockshin, L., & Corsi, A. M. (2012). Consumer behavior for wine 2.0: a review since 2003 and future directions. *Wine Economics and Policy*, 1, 2–23.

Lord, H. (2000). Evolution of solid-phase microextraction technology. *Journal of Chromatography A*, 885, 153–193.

Luo, T., Fan, W., & Xu, Y. (2008). Characterization of volatile and semi-volatile compounds in chinese rice wines by headspace solid phase microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of the Institute of Brewing*, 114, 172–179.

Marquez, A., Serratos, M. P., Merida, J., Zea, L., & Moyano, L. (2014). Optimization and validation of an automated DHS-TD-GC-MS method for the determination of aromatic esters in sweet wines. *Talanta*, 123, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.052>

Mato, I., Suarez-Luque, S., & Huidobro, J. F. (2005). A review of the analytical methods to determine organic acids in grape juice and wines. *Food Research*

International, 38, 1175–1188.

- Mendes-Ferreira, A., Coelho, E., Barbosa, C., Oliveira, J. M., & Mendes-Faia, A. (2019). Production of blueberry wine and volatile characterization of young and bottle-aging beverages. *Food Science and Nutrition*, 7, 617–627. <https://doi.org/10.1002/fsn3.895>
- Miklósy, É., & Kerényi, Z. (2003). Comparison of the volatile aroma components in noble rotted grape berries from two different locations of the Tokaj wine district in Hungary. *Analytica Chimica Acta*, 177–181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.087>.
- Mo, X., Fan, W., & Xu, Y. (2009). Changes in volatile compounds of chinese rice wine wheat qu during fermentation and storage. *Journal of the Institute of Brewing*, 115, 300–307. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2009.tb00385.x>
- Moreno, J. A. (2005). Influencia del tipo de envejecimiento sobre el perfil aromático de vinos generosos andaluces. Tesis Doctoral. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba (España).
- Moyano, L., Zea, L., Moreno, A., & Medina, M. (2010). Evaluation of the active odorants in Amontillado sherry wines during the aging process. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 6900–6904. <https://doi.org/10.1021/jf100410n>
- Moyano, L., Serratos, M. P., Marquez, A., & Zea, L. (2019). Optimization and validation of a DHS-TD-GC-MS method to wineomics studies. *Talanta*, 192, 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.09.032>
- Nykänen, L. (1986). Formation and occurrence of flavor compounds in wine and distilled alcoholic beverages. *American Journal of Enology and Viticulture*, 37, 84–96.
- Ortega-Heras, M., González-San José, M. L., & Beltrán, S. (2002). Aroma composition of wine studied by different extraction methods. *Analytica Chimica Acta*, 458, 85–93.
- Ortega, A., & Pino, J. (1997). Los constituyentes volátiles de las frutas tropicales. Frutas de las especies de Carica. *Alimentaria*, 286, 27–40.
- Perestrelo, R., Fernandes, J. S., Albuquerque, A., Marques, F. F., & Camara, J. C. (2006). Analytical characterization of the aroma of Tinta Negra Mole red wine: identification of the main odorant compounds. *Analytica Chimica Acta*, 563, 154–164.
- Perestrelo, R., Silva, P., Porto-Figueira, P., Pereira, J. A. M., Silva, C., Medina, S., & Camara, J. C. (2019). QuEChERS-fundamentals, relevant improvements, applications and future trends. *Analytica Chimica Acta*, 1070, 1–28.
- Pino, J. A., & Queris, O. (2011). Analysis of volatile compounds of mango wine. *Food Chemistry*, 125, 1141–1146.
- Pino, J. .A., & Queris, O. (2012). Original article Characterisation of odour-active

- compounds in papaya (*Carica papaya* L .) wine. *262 International Journal of Food Science and Technology*, *47*, 262–268. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02834.x>
- Pons, A., Allamy, L., Lavigne, V., Dubourdieu, D., & Darriet, P. (2017). Study of the contribution of massoia lactone to the aroma of Merlot and Cabernet Sauvignon musts and wines. *Food Chemistry*, *232*, 229–236. <https://doi.org/doi:10.1016/j.foodchem.2017.03.151>.
- Rapp, A. (1998). Volatile flavour of wine: correlation between instrumental analysis and sensory perception. *Nahrung*, *42*, 351–363.
- Rocha, S. M., Rodrigues, F., Coutinho, P., Delgadillo, I., & Coimbra, M. A. (2004). Volatile composition of Baga red wine assessment of the identification of the would-be impact odourants. *Analytica Chimica Acta*, *513*, 257–262.
- Ruiz, M. J., Moyano, L., & Zea, L. (2014). Changes in aroma profile of musts from grapes cv. Pedro Ximenez chamberdried at controlled conditions destined to the production of sweet Sherry wine. *LWT-Food Science and Technology*, *59*, 560–565. <https://doi.org/doi:10.1016/j.lwt.2014.04.056>.
- Rupasinghe, H. P., & Clegg, S. (2007). Total antioxidant capacity, total phenolic content, mineral elements, and histamine concentrations in wines of different fruit sources. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*, 133–137.
- Saénz-Navajas, M. P., Ballester, J., Pêcher, C., Peyron, D., & Valentin, D. (2013). Sensory drivers of intrinsic quality of red wines: effect of culture and level of expertise. *Food Research International*, *54*, 1506-1518.
- Sarrazin, E., Dubourdieu, D., & Darriet, P. (2007). Characterization of key-aroma compounds of botrytized wines influence of grape botrytization. *Food Chemistry*, *103*, 536–545.
- Šehović, D., Petravić-Tominac, V., & Marić, V. (2007). On higher alcohols in wine. *Periodicum Biologorum*, *109*, 205–217.
- Shinohara, T. (1985). Gas chromatographic analysis of volatile fatty acids in wines. *Agricultural and Biological Chemistry*, *49*, 2211–2212.
- Siebert, T. E., Smyth, H. E., Capone, D. L., Neuwohner, C., Pardon, K.H. Skouroumounis, G. K., Herderich, M. J., Sefton, M. A., & Pollnitz, A. P. (2005). Stable isotope dilution analysis of wine fermentation products by HS-SPME-GC-MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *381*, 937–947.
- Soufleros, E. H., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakis, M., Mermelas, K., Boukouvalas, G., & Tsimitakis, E. (2001). Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition. *Food Chemistry*, *75*, 487–500. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00207-2)
- Swiegers, J. H., Bartowsky, E. J., Henschke, P. A., & Pretorius, I. S. (2005). Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *11*, 139–173. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00285.x>

- TNO (1996). Papaya (*Carica papaya* L.). In: *Volatile Compounds in Food. Qualitative and Quantitative Data*. Nijssen, L. M., Visscher, C. A., Maarse, H., & Willemsens, L. C. (eds.), Ed. *TNO Nutrition and Food Research Institute*. Amsterdam (Netherlands)
- Ugliano, M., & Henschke, P. A. (2009). Yeasts and wine flavor. In: *Wine Chemistry and Biochemistry*. Ed. *Springer*. New York (USA).
- Villamor, R. R., & Ross, C. F. (2013). Wine matrix compounds affect perception of wine aromas. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 1–20.
- Wei, Z., Liu, X., Huang, Y., Lu, J., & Zhang, Y. (2018). Volatile aroma compounds in wines from chinese wild/hybrid species. *Journal of Food Biochemistry*, 43, 1–20. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12684>
- Winterhalter, P. (1991). 1,1,6-Trimethyl-1,2-Dihydronaphthalene (TDN) formation in wine .1. Studies on the hydrolysis of 2,6,10,10-Tetramethyl-1-Oxaspiro 4.5 Dec-6-Ene-2,8- Diol rationalizing the origin of TDN and related C-13 norisoprenoids in Riesling wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1825–1829.
- Xiao, Z., Dai, X., Zhu, J., & Haiyan, Y. (2015). Classification of chinese rice wine according to geographic origin and wine age based on chemometric methods and SBSE-TD-GC-MS analysis of volatile compounds. *Food Science and Technology Research*, 21, 371–380. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.371>
- Yang, C., Wang, Y., Liang, Z., Fan, P., Wu, B., Yang, L., & Li, S. (2009). Volatiles of grape berries evaluated at the germplasm level by head-space-SPME with GC-MS. *Food Chemistry*, 114, 1106–1114.
- Zhao, P., Qian, Y., He, F., Li, H., & Qian, M. (2017). Comparative characterization of aroma compounds in merlot wine by lichrolut-en-based aroma extract dilution analysis and odor activity value. *Chemosensory Perception*, 10, 149–160.

**CAPÍTULO VI. HUELLA
AROMÁTICA DE VINOS
CUBANOS**

1. INTRODUCCIÓN

Como ya se ha indicado en un apartado anterior de esta memoria, la fracción aromática de los vinos es muy compleja ya que se han identificado más de 1000 compuestos aromáticos volátiles pertenecientes a diferentes familias químicas como: alcoholes, aldehídos, ésteres, ácidos grasos, lactonas, cetonas, terpenos etc., con un amplio rango de concentración (Martí *et al.*, 2003; Vianna & Ebeler, 2001). Estos compuestos, desempeñan un papel importante en la composición del vino; sin embargo, no todos los metabolitos volátiles son odorantes activos, es decir no todos ellos son responsables del aroma, por lo que la participación en el perfil aromático puede ser muy variada. Algunos pueden afectar el aroma integral del vino, mientras que otros pueden no generar olores (Perestrelo *et al.*, 2006).

En los últimos años se han utilizado diferentes métodos de extracción para aislar el mayor número de metabolitos de mostos y vinos mediante extracción en fase sólida (SPE), microextracción en fase sólida (SPME) y extracción con barra de agitación (SBSE), entre otros. Además, la cromatografía de gases junto con la espectrometría de masas (GC/MS) es la técnica más utilizada para el análisis de los compuestos aromáticos volátiles del vino, con una alta eficiencia de separación y sensibilidad (Armanino *et al.*, 2008; Coelho *et al.*, 2008; Liu & Ying, 2005).

La técnica dinámica del espacio de cabeza (Dynamic Head Space, DHS) se utiliza para extraer los metabolitos volátiles procedentes de muestras líquidas o sólidas y que pasan al espacio superior gaseoso (espacio de cabeza). La muestra se incuba a una temperatura fija con agitación y los metabolitos se evaporan al espacio de cabeza. Posteriormente, estos se concentran en un adsorbente seleccionado, se introducen en la unidad térmica de desorción (TDU) y pasan al GC/MS. Las principales ventajas de esta técnica son una baja manipulación de la muestra, no precisa de disolventes químicos, y se obtienen bajos límites de detección y alta sensibilidad (Marquez *et al.*, 2014; Moyano *et al.*, 2019). Además, es importante señalar que, dado que se extraen únicamente los metabolitos volátiles, los resultados se aproximan más al perfil aromático o huella aromática real del vino analizado. Esta técnica se ha utilizado para la identificación de compuestos volátiles en alimentos como aceite de oliva virgen, vinagre, miel, etc., así como en diferentes tipos de vinos (Bianchi *et al.*, 2005; Kanavouras & Hernandez, 2006; Marquez *et al.*, 2014; Moyano *et al.*, 2019), pero hasta donde sabemos, no se ha aplicado para el análisis de metabolitos volátiles en vinos de origen cubano.

Es conocido que la contribución individual de cada metabolito depende de la concentración de éste en relación con su umbral de percepción; lo que se define bajo el término de Valor de Actividad Odorante (VAO) (Chaves *et al.*, 2007; Moyano *et al.*, 2002, 2009, 2010; Zea *et al.*, 2007, 2008, 2010). El umbral de percepción es considerado el valor mínimo de un estímulo sensorial, necesario para dar lugar a una sensación (ISO 5492:2008); por lo que sólo aquellos metabolitos con $VAO > 1$ contribuyen realmente al aroma del vino (Loscos *et al.*, 2010; Zea *et al.*, 2010). Sin embargo, algunos autores indican que aquellos metabolitos con $VAO < 1$ deben ser tenidos en cuenta ya que pueden potenciar determinadas notas aromáticas. De esta forma, se pueden diferenciar los metabolitos con una mayor potencia odorante, VAOs más altos, y que, por lo tanto, van a participar más en la huella aromática de cada vino

en particular. Para definir la huella aromática de un determinado vino, además de identificar, cuantificar y calcular el VAO de los metabolitos volátiles, es necesario conocer los descriptores aromáticos de cada uno de ellos; ya que se deben agrupar dichos odorantes en series aromáticas que presenten descriptores similares. Según diferentes autores (Chaves *et al.*, 2007; Cliff *et al.*, 2002; Moyano *et al.*, 2002, 2009; Zea *et al.*, 2007, 2008) un metabolito odorante puede aportar al perfil aromático diferentes notas aromáticas por lo que podrá ser incluido en diferentes series. En la presente memoria los metabolitos odorantes se han incluido en 8 series aromáticas: Frutal (Fr), Especiada (Es), Vegetal (V), Grasa (G), Floral (Fl), Química (Q), Empireumática (Em) y Balsámica (B), según la clasificación establecida por Noble *et al.* (1987) en la *Rueda de Aromas del Vino*. La contribución de cada serie a la huella aromática de los vinos estudiados se ha obtenido mediante el sumatorio de los VAOs individuales de todos los compuestos incluidos en la misma serie aromática; ya que, de esta forma, se reduce el número de variables a considerar manteniendo la importancia relativa de cada metabolito estimado.

2. SERIES AROMÁTICAS

A continuación, se discuten las series aromáticas en las cuales se han incluido los metabolitos volátiles cuantificados en el espacio de cabeza, especialmente aquellos metabolitos que son odorantes activos; es decir que presenten VAOs > 1, en al menos uno de los vinos estudiados, por ser los que más directamente contribuyen a la huella aromática. Sin embargo, en la Tabla A22 se muestran los valores medios de los VAOs individuales de todos los metabolitos cuantificados. Además, los metabolitos incluidos en varias series aromáticas serán discutidos, únicamente, en la primera de las series comentadas.

En la Tabla 6.1 se muestran los 44 metabolitos identificados en el espacio de cabeza de los vinos cubanos, así como su tiempo de retención, fórmula molecular, CAS, masa molecular, m/z , umbral de percepción, descriptores aromáticos y series aromáticas en la que participa. Como puede observarse, son 8 las series aromáticas en las que se incluyen dichos metabolitos: frutal, especiada, vegetal, grasa, floral, química, empireumática y balsámica.

Tabla 6.1. Características cromatográficas de los metabolitos identificados mediante extracción por espacio de cabeza

Metabolito	t_r	Fórmula	CAS	PM	m/z	Umbral de percepción (mg/L)	Descriptor aromático	Serie aromática
Acetato de propilo	3.43	$C_5H_{10}O_2$	109-60-4	102	43/61/73	65	Pegamento, mantecado	Q, G
Butanoato de metilo	3.52	$C_5H_{10}O_2$	623-42-7	102	57/74/102	1	Fresa, pegamento, queso	Fr, Q, G
Alcoholes isoamflicos	3.64	$C_5H_{12}O$	123-51-3	88	42/55/70	65	Aceites de fusel, alcohol, whisky, esmalte de uñas	Q
Isobutanoato de etilo	3.93	$C_6H_{12}O_2$	97-62-1	116	43/71/116	0.015	Fresa, melón	Fr
1-pentanol	4.02	$C_5H_{12}O$	71-41-0	88	41/55/70	1.3	Simético, alcohol de fusel	Q
Acetato de isobutilo	4.11	$C_6H_{12}O_2$	110-19-0	116	43/56/73/101	6.14	Manzana, plátano	Fr
Hexanal	4.42	$C_6H_{12}O$	66-25-1	100	44/56/72	0.35	Hierba verde	V
Ácido butanoico	4.45	$C_4H_8O_2$	107-92-6	88	60/73/27	10	Queso	G
Butanoato de etilo	4.48	$C_6H_{12}O_2$	105-54-4	116	43/71/88/116	0.02	Plátano, piña, fresa, manzana	Fr
Acetato de butilo	4.60	$C_6H_{12}O_2$	123-86-4	116	43/56/87	4.6	Plátano, melón, pera, acetona, pegamento	Fr, Q
2-metil 1-pentanol	4.82	$C_6H_{14}O$	105-30-6	102	43/55/71	50	Pegamento	Q
4-metil 1-pentanol	4.86	$C_6H_{14}O$	626-89-1	102	43/56/69	50	Almendra, tostado	Fr, Em
3-metil 1-pentanol	4.97	$C_6H_{14}O$	589-35-5	102	41/55/69	50	Vinoso, cacao, herbáceo	Q, Em, V
E-3-hexenol	5.06	$C_6H_{12}O$	928-97-2	100	41/67/82	1	Hierba verde, cesped	V
Z-3-hexenol	5.11	$C_6H_{12}O$	928-96-1	100	41/55/67/82	0.4	Hierba, hojas verdes	V
Acetato de isoamilo	5.36	$C_7H_{14}O_2$	123-92-2	130	43/70/85	0.03	Plátano	Fr
Benzaldehído	6.40	C_7H_6O	100-52-7	106	51/77/105/106	5	Almendra amarga, nuez, ahumado	Fr, Em

Tabla 6.1. Continuación

Metabolito	tr	Fórmula	CAS	PM	m/z	Umbral de percepción (mg/L)	Descriptor aromático	Serie aromática
Ácido hexanoico	6.41	C ₆ H ₁₂ O ₂	142-62-1	116	60/73/41	3	Sudor, rancio	G
Hexanoato de etilo	6.79	C ₈ H ₁₆ O ₂	123-66-0	144	43/88/99	0.005	Plátano, manzana	Fr
Octanal	6.84	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	128	43/57/84	0.64	Manteca rancia	G
Lactato de etilo	6.89	C ₅ H ₁₀ O ₃	97-64-3	118	45/57/85	250	Frambuesa, fresa, mantequilla	Fr, G
Acetato de hexilo	6.94	C ₈ H ₁₆ O ₂	142-92-7	144	43/55/84	1	Manzana, pera, cereza, plátano, barniz	Fr, Q
Butanoato de isoamilo	7.41	C ₉ H ₁₈ O ₂	106-27-4	158	43/55/71/89	1	Frutas	Fr
1-octanol	7.57	C ₈ H ₁₈ O	111-87-5	130	41/56/69/84	10	Jazmín, rosa, barniz, céreo, jabonoso	Fr, Q, G
Heptanoato de etilo	7.85	C ₉ H ₁₈ O ₂	106-30-9	158	88/113	10	Fresa, plátano	Fr
Linalol	7.89	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	154	79/91/93/121	0.015	Moscateal, cítrico, rosa, lavanda	Fr, Fl
2-feniletanol	8.04	C ₈ H ₁₀ O	60-12-8	122	65/91/122	10	Rosa, miel	Fl
Ácido octanoico	8.51	C ₆ H ₁₂ O ₂	124-07-2	144	125/45	8.8	Queso	G
Succinato de dietilo	8.68	C ₈ H ₁₄ O ₄	123-25-1	174	55/73/101/129	100	Melón, lavanda	Fr, Fl
Octanoato de etilo	8.84	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	106-32-1	172	88/140/172	0.005	Plátano, piña, pera	Fr
α-terpineol	8.89	C ₁₀ H ₁₈ O	98-55-5	154	59/93/43	0.35	Lila	Fl
Nerol	9.19	C ₁₀ H ₁₈ O	106-25-2	154	79/93/121/136	10	Rosa	Fl
Neral	9.29	C ₁₀ H ₁₆ O	5392-40-5	152	69/94/41	0.12	Limon	Fr
Geraniol	9.41	C ₁₀ H ₁₈ O	106-24-1	154	41/79/93/121	0.03	Rosa, geranio	Fl

Tabla 6.1. Continuación

Metabolito	tr	Fórmula	CAS	PM	m/z	Umbral de percepción (mg/L)	Descriptor aromático	Serie aromática
Acetato de 2-feniletanol	9.47	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	103-45-7	164	43/65/91/104	0.25	Flores	Fl
E-lactona del roble	9.80	C ₉ H ₁₆ O ₂	39212-23-2	156	41/71/87/99	0.122	Coco, madera quemada, vainilla	Fr, Em, Es
Z- lactona del roble	10.11	C ₉ H ₁₆ O ₂	39212-23-2	156	41/69/71	0.035	Coco, madera quemada, vainilla	Fr, Em, Es
Ácido decanoico	10.33	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	334-48-5	172	153/171	15	Grasa rancia	G
Eugenol	10.41	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	97-53-0	164	164/149/103	0.005	Clavo	Es
Metileugenol	10.76	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	93-15-2	178	178/103/91	10	Pimienta, cespced	Es, V
Isoeugenol	11.33	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	97-54-1	164	131/149/164	0.006	Clavo	Es
E-nerolidol	11.36	C ₁₅ H ₂₆ O	40716-66-3	222	41/69/43	64	Pino	V
Z-nerolidol	12.01	C ₁₅ H ₂₆ O	40716-66-3	222	41/69/43	64	Pino	V
Farnesol 1-4	12.89	C ₁₅ H ₂₆ O	4602-84-0	222	43/69/93/119	72	Flores, lima	Fl, Fr

2.1. SERIE FRUTAL

La serie aromática frutal es de gran importancia en los vinos que no han sido sometidos a procesos de crianza o envejecimiento, ya que en ella se incluyen un elevado número de metabolitos y suele alcanzar valores de actividad odorante altos. En los vinos estudiados, los metabolitos que se agrupan en esta serie son 20; los cuales, aportan notas aromáticas que recuerdan a frutos rojos (fresa, frambuesa, cereza), frutas de árbol (manzana, pera), frutas tropicales (melón, plátano, piña, coco), frutos secos (almendra), cítricos (limón) y a bayas (uva moscatel). Estos metabolitos pertenecen a diferentes familias químicas, siendo la más numerosa la de los ésteres: butanoato de metilo, isobutanoato de etilo, acetato de isobutilo, butanoato de etilo, acetato de butilo, acetato de isoamilo, hexanoato de etilo, lactato de etilo, acetato de hexilo, butanoato de isoamilo, heptanoato de etilo, succinato de dietilo y octanoato de etilo). Además, se incluyen en esta serie: aldehídos (benzaldehído, neral), lactonas (*E* y *Z*-lactona del roble), terpenoides (linalol y farnesol 1-4) y alcoholes (4-metil-1-pentanol).

A continuación, en la Figura 6.1 se representa el VAO total de la serie frutal para los vinos objeto de este estudio; el cual, como se ha comentado anteriormente se ha obtenido mediante el sumatorio de los VAOs individuales de cada metabolito englobado en esta serie aromática. Además, se ha realizado un análisis de varianza (Anova al 95% de confianza) para determinar si existen diferencias significativas en los vinos según el aroma asociado a aromas afrutados. Como se observa, los valores de actividad odorante para esta serie oscilaron entre aproximadamente 553 (G4) a 2678 (G2) en los vinos elaborados con uvas, entre 565 (TF1) a 1122 (TF3) en los vinos de frutas tropicales y entre 291 (R2) a 933 (R1) en los vinos de arroz.

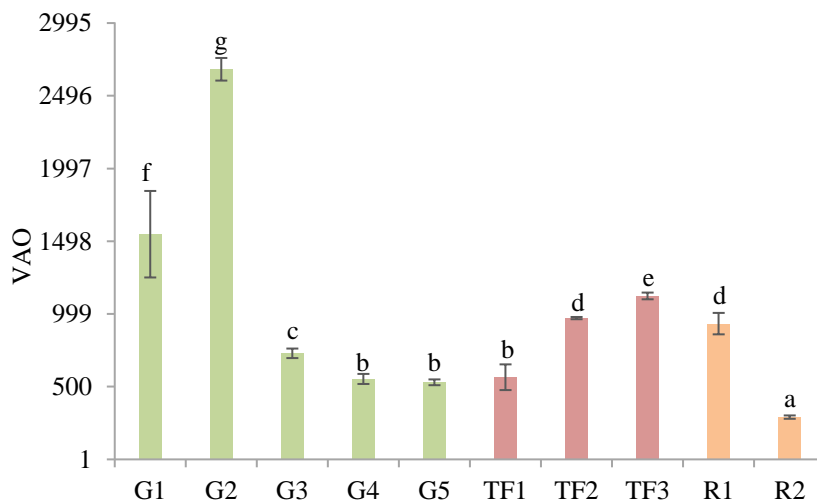


Figura 6.1. VAO total de la serie frutal de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

De todos los vinos estudiados destacó el vino elaborado con uva Cimarrona sometida a maceración pelicular (G2); el cual alcanzó VAOs frutales superiores a 2500, significativamente más altos que el resto de los vinos. Sin embargo, es importante señalar que todos los vinos presentaron unas notas frutales considerablemente altas (VAOs > 250), lo que implica una elevada potencia aromática de las notas frutales en todos los vinos cubanos estudiados. El resultado del análisis de varianza para esta serie no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los vinos G4 (mezcla de mostos procedentes de uvas Aramón y Cimarrona pasificadas y con podredumbre noble), G5 (uva Aramón sometida a maceración pelicular) y TF1 (frutilla). Así mismo, no se observaron diferencias significativas en los VAOs frutales de los vinos TF2 (papaya) y R1 (arroz). Por lo que, en ambos casos, se puede considerar que la intensidad aromática de las notas frutales de los vinos incluidos en cada uno de los dos grupos homogéneos es similar. En este sentido autores como Joshi *et al.* (2011) indican que, de forma similar a los vinos de uva, los vinos elaborados con otras materias primas y denominados vinos “no-uva”, en general, presentan altos contenidos en compuestos volátiles que aportan a estos vinos intensos aromas frutales.

De todos los metabolitos incluidos en la serie frutal, los ésteres etílicos butanoato, hexanoato y octanoato de etilo y el acetato de isoamilo pueden considerarse los contribuyentes más relevantes al aroma frutal ya que son los compuestos que alcanzan los VAOs más altos y superiores a 1 (Tabla 6.2 y 6.3). La elevada potencia aromática de estos ésteres está relacionada con los bajos umbrales de percepción que presentan y que como puede observarse en la Tabla 6.1 oscilan entre 0.005 mg/L y 0.03 mg/L. En este sentido, Rupasinghe *et al.* (2017) señalan que no es necesario que estos metabolitos presenten elevadas concentraciones en los vinos para tener un impacto sobre el aroma de estos. Además, es importante señalar que la potencia aromática de estos 4 ésteres en conjunto representa, en todos los vinos, más del 97% del VAO frutal total, y según autores como Swiegers *et al.* (2005) y Siebert *et al.* (2005) estos odorantes aportan gran calidad aromática a los vinos. Además, autores como Jagatic *et al.* (2020) también señalan a estos cuatro ésteres como metabolitos importantes desde el punto sensorial en los vinos croatas analizados ya que sus valores de actividad odorante fueron superiores a 1.

Como puede observarse, en los vinos elaborados con uvas estos ésteres alcanzaron VAOs superiores a 30, lo cual implica que sus notas odorantes a plátano, piña, fresa, manzana y pera participaran de forma notable en el perfil aromático de estos vinos. De todos ellos, el octanoato de etilo con VAOs > 350 fue el que presentó mayor potencia aromática. El comportamiento de estos ésteres volátiles depende en gran medida de la técnica de vinificación empleada y, en este sentido, autores como Roldán *et al.* (2021) señalan que la maceración pelicular de las uvas favorece la difusión de algunos ésteres hacia el mosto; aumentando su concentración final en el vino.

Tabla 6.2. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie frutal, para los vinos de uva.

Metabolitos	Vinos de uva				
	G1	G2	G3	G4	G5
Butanoato de etilo	174±11.5	176±3.28	116±19.0	34.1±11.1	81.8±2.53
Hexanoato de etilo	62.1±7.03	61.7±6.45	30.3±0.605	61.1±0.523	46.1±0.878
Octanoato de etilo	1232±273	2398±76.7	494±8.46	410±25.0	358±15.1
Acetato de isoamilo	69.6±4.73	34.3±1.73	76.0±3.71	43.1±2.14	36.0±3.05

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón.

En los vinos de frutas tropicales, el hexanoato y el octanoato de etilo fueron los odorantes más potentes ya que presentaron VAOs > 285 en todos los vinos excepto en el vino elaborado con frutilla (TF1). Lee *et al.* (2013) identifican en vinos de papaya a estos metabolitos, señalando que los ésteres son constituyentes importantes de estos vinos. En lo que respecta a los vinos de arroz, también los ésteres etílicos C6 y C8 presentan los VAOs más altos, superiores a 100. Sin embargo, se observa un descenso acusado de los valores de estos odorantes en el vino R2; lo que puede estar relacionado con el proceso de torrefactado previo al que se somete el arroz, antes del proceso de fermentación. La presencia de ésteres volátiles en vinos de arroz ha sido confirmada por autores como Cao *et al.* (2010) en vinos de origen chino. Estos autores estudian 12 vinos de arroz comerciales identificando numerosos ésteres, entre los que se encuentran los anteriormente comentados, que aportan notas frutales y florales a estos vinos de arroz.

Tabla 6.3. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie frutal, para los vinos de frutas tropicales y arroz.

Metabolitos	Vinos de frutas tropicales			Vinos de arroz	
	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Butanoato de etilo	139±14.1	77.7±0.176	84.3±7.50	78.7±4.64	39.9±0.492
Hexanoato de etilo	71.5±5.12	481±0.849	286±11.1	580±46.8	99.8±2.74
Octanoato de etilo	298±63.0	347±6.99	563±54.3	238±28.5	126±6.47
Acetato de isoamilo	38.6±5.51	61.2±1.61	187±12.8	35.4±2.95	20.6±3.0

TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.2. SERIE ESPECIADA

Los metabolitos volátiles incluidos en la serie aromática especiada extraídos del espacio de cabeza de los vinos estudiados fueron: los isómeros *E* y *Z*-lactona del roble, el eugenol, el metileugenol y el isoeugenol. Estos odorantes aportan notas aromáticas a

especias como la vainilla, clavo y pimienta. Los VAOs individuales de cada metabolito, así como el VAO total de la serie especiada se muestran en las A22 y A23. En la Figura 6.2 está representado el VAO global de la serie especiada para cada vino, así como el análisis estadístico Anova realizado al 95% de confianza. Como puede observarse, los vinos G4, TF3 y R1 mostraron VAOs < 1 por lo que las notas aromáticas especiadas no participaron en el perfil aromático de estos vinos. En los vinos restantes los VAOs oscilaron entre 40 (G5) y 84 (G1) para los de uva, entre 76 (TF1) y 105 (TF2) para los de frutas tropicales y 1.37 para el vino R2. Además, el análisis estadístico realizado no muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los vinos de uva G2, G3 y G5 que presentaron VAOs próximos a 40, por lo que puede considerarse que la intensidad de los aromas especiados de estos vinos es similar.

Los vinos que alcanzaron los VAOs más altos, fueron el G1 y TF2 (papaya), 84 y 105, respectivamente, a los cuales, durante su proceso de vinificación se les adicionaron virutas de mangle y de eucalipto, respectivamente. Además, el vino de frutilla (TF1) también presentó un VAO especiado elevado, próximo a 76; por lo que también sus notas aromáticas, participaron de forma significativa en el perfil aromático de este vino.

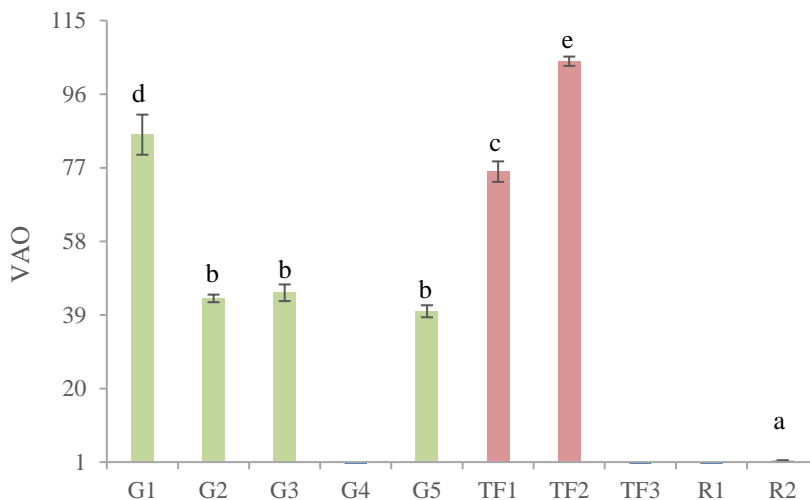


Figura 6.2. VAO total de la serie especiada de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

De los metabolitos agrupados en la serie especiada, los fenoles volátiles eugenol e isoeugenol fueron los odorantes con mayor potencia aromática y por tanto con mayor impacto en esta serie; aportando a los vinos notas especiadas que recuerdan a clavo. En todos los vinos donde estos metabolitos se identificaron, representan más del 98% del VAO global de la serie especiada. En los vinos de uva, el eugenol fue odorante activo en los vinos G1 y G2 mientras que el isoeugenol lo fue en los vinos G3 y G5. En el vino G4 donde la uva se pasificó estos fenoles volátiles no presentaron actividad odorante. Los vinos elaborados con adición de virutas de mangle (G1 y G3) alcanzaron

los valores más altos de eugenol e isoeugenol, 82 y 44, respectivamente. Por último, los vinos G2 y G5, elaborados con maceración pelicular de la uva Cimarrona y Aramón, respectivamente, también presentaron elevados valores de actividad odorante; aunque ligeramente inferiores a los de los vinos citados anteriormente.

Tabla 6.4. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie especiada, para los vinos de uva.

Metabolitos	Vinos de uva				
	G1	G2	G3	G4	G5
Eugenol	81.8±5.07	43.3±0.985	0.0	0.0	0.0
Isoeugenol	0.0	0.0	44.0±2.10	0.0	38.8±1.51

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón

De los vinos restantes, los dos fenoles volátiles anteriormente citados, únicamente presentaron actividad odorante en los vinos de frutas tropicales TF1 y TF2. En ambos vinos los valores de actividad odorante del eugenol fueron superiores a los del isoeugenol, destacando el VAO próximo a 67 del eugenol para el vino de papaya, lo cual puede estar relacionado con la adición de virutas de eucalipto que se le añadió a este vino durante su elaboración.

Tabla 6.5. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie especiada, para los vinos de frutas tropicales y arroz.

Metabolitos	Vinos de frutas tropicales			Vinos de arroz	
	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Eugenol	39.5±0.864	67.0±2.80	0.0	0.0	0.0
Isoeugenol	36.5±1.79	37.5±1.60	0.0	0.0	0.0

TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Estos resultados estarían en concordancia con los obtenidos por Chatonnet *et al.* (1992), Ferreira *et al.* (1997), Feuillat *et al.* (1999) y Ribéreau-Gayon *et al.* (2000); los cuales indican que, aunque la mayoría de los fenoles volátiles son compuestos específicos de la madera, el eugenol e isoeugenol también han sido detectados en vinos sin crianza. Además, sus concentraciones aumentan debido a la termólisis de la lignina durante el tostado de la madera y a reacciones de descarboxilación de los ácidos fenólicos presentes en la uva, frutas tropicales y en el vino.

2.3. SERIE VEGETAL

En la serie vegetal se incluyen aquellos odorantes que aportan notas aromáticas que recuerdan a hierba, césped y hojas verdes. En los vinos estudiados los metabolitos englobados en esta serie fueron el hexanal, el 3-metil-1-pentanol, los isómeros *E* y *Z*-3-hexenol y el octanal. Los compuestos metileugenol y los isómeros *E* y *Z* nerolidol,

aunque presentan aromas vegetales su aportación al perfil aromático de los vinos ha sido nula. En la Figura 6.3 (Tablas A22 y A23) se muestra el VAO global de la serie vegetal obtenido mediante la suma de los VAOs individuales de cada odorante. Para los vinos de uva, los VAOs de la serie vegetal oscilaron entre 11 y 43 (G2 y G5, respectivamente) y el análisis estadístico Anova (95% de confianza), realizado a dichos valores, mostró diferencias significativas entre los vinos de uva, excepto para los vinos G2 y G4, que además presentaron los valores más bajos, inferiores a 13. Por el contrario, el vino G5, elaborado con mosto procedente de uva Aramón sometida a maceración pelicular alcanzó valores superiores al resto de vinos (VAO > 42). Este elevado valor estaría relacionado en primer lugar con la propia composición de la variedad de uva y en segundo lugar con el proceso de maceración pelicular que provoca la difusión de determinados metabolitos presentes en la piel de la uva hacia el mosto. Cabe señalar que el vino G2 se elabora con mosto de uva Cimarrona también sometida a maceración pelicular; por lo que las diferencias entre la intensidad odorante de ambos vinos están relacionadas fundamentalmente con la composición de cada tipo de uva. Por último, los vinos de uva G1 y G3, ambos elaborados con mezcla de mostos de uvas botritizadas y fresca y con maceración pelicular alcanzaron VAOs vegetales intermedios entre los valores anteriores. Siendo significativamente más altos los del vino G3; lo que estaría en concordancia con los resultados anteriores e indica que la intensidad aromática vegetal en los vinos elaborados con uva Aramón, generalmente es superior a la de los vinos elaborados con uva Cimarrona.

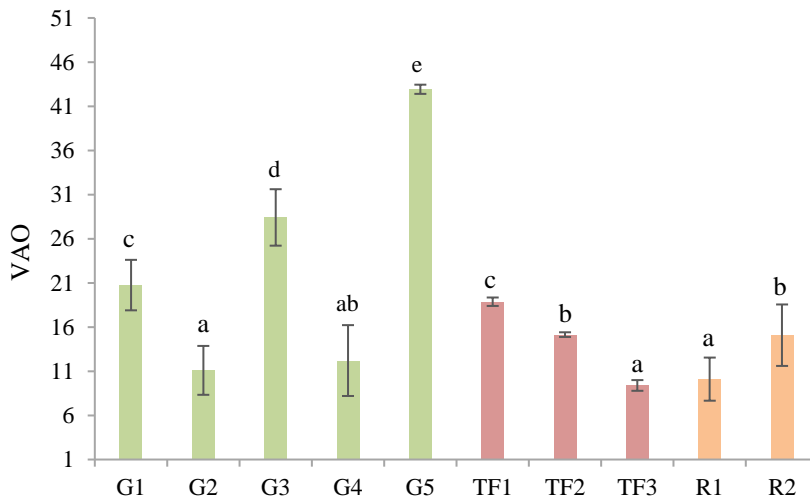


Figura 6.3. VAO total de la serie vegetal de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Respecto de los vinos elaborados con frutas tropicales y arroz, se clasificaron en tres grupos homogéneos diferentes, de acuerdo con la intensidad de sus aromas vegetales. El vino TF1 alcanzó un VAO próximo a 19, los vinos TF2 y R2 ligeramente superiores a 15 y los vinos TF3 y R1 alrededor de 10.

Los metabolitos con mayor contribución aromática en la serie vegetal fueron: hexanal, octanal y Z-3-hexenol (Tabla 6.6 y 6.7). Los compuestos C6 son ampliamente conocidos por su contribución al aroma herbáceo de los vinos y una de las vías principales de formación transcurre durante el prensado. De los tres metabolitos indicados, únicamente el hexanal mostró actividad odorante (VAO >1) en todos los vinos estudiados.

Respecto a los vinos de uva, además del hexanal, el octanal presentó actividad odorante en todos ellos. Estos dos metabolitos aportan en conjunto más del 70% del aroma vegetal de los vinos de uvas, siendo los vinos G3 y G5, elaborados únicamente con uva Aramón, los que alcanzaron los VAOs más altos para estos dos odorantes (VAOs > 9). Destaca el elevado valor que presentó el octanal en el vino G5 (VAO > 29), elaborado con mosto procedente de uva fresca sometida a maceración pelicular. Por el contrario, el Z-3-hexenol con VAOs < 5 contribuyó con una menor intensidad aromática al aroma vegetal de los vinos de uva.

Tabla 6.6. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie vegetal, para los vinos de uva.

Metabolitos	Vinos de uva				
	G1	G2	G3	G4	G5
Hexanal	7.19±1.24	3.81±1.57	12.2±2.23	4.76±2.57	8.96±0.44
Octanal	7.95±1.22	7.19±1.25	12.1±0.267	6.05±0.759	29.4±0.069
Z-3-hexenol	5.61±0.405	0.094±0.052	4.15±1.24	1.40±0.680	4.56±0.012

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón

En los vinos de frutas tropicales, el hexanal aportó notas vegetales en los tres vinos (VAOs > 6); siendo el vino de papaya (TF2), con valores de actividad odorante de 15, el que presentó las notas vegetales más intensas. En cuanto a los dos metabolitos restantes, el octanal únicamente alcanzó concentraciones superiores a su umbral de percepción en el vino de frutilla (TF1, VAO > 4) y el Z-3-hexenol sólo fue odorante activo en el vino elaborado con mezcla de frutas (TF3).

Tabla 6.7. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie vegetal, para los vinos de frutas tropicales y arroz.

Metabolitos	Vinos de frutas tropicales			Vinos de arroz	
	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Hexanal	14.1±1.82	15.0±0.263	6.14±0.622	9.87±2.46	5.50±2.66
Octanal	4.58±1.28	0.0	0.0	0.0	0.218±0.003
Z-3-hexenol	0.244±0.061	0.115±0.002	3.25±0.014	0.229±0.016	9.36±0.815

TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Por último, en los vinos de arroz, los metabolitos que contribuyeron al aroma vegetal fueron el hexanal y el Z-3-hexenol. Para el vino R1, únicamente, el primero de ellos, con VAOs > 9, fue el que participó en esta serie aromática. Sin embargo, para el vino R2 las notas vegetales fueron debidas a las aportaciones conjuntas del hexanal, y el Z-3-hexenol alcanzó (VAO = 5.5 y VAO = 9.36, respectivamente).

2.4. SERIE GRASA

A esta serie aromática pertenecen nueve metabolitos de diferentes familias químicas: ésteres (acetato de propilo, butanoato de metilo, lactato de etilo), ácidos (butanoico, hexanoico, octanoico, decanoico), aldehídos (octanal) y alcoholes (1-octanol). Las notas aromáticas que aportan estos odorantes están asociadas a descriptores como: mantecado, queso, manteca rancia, mantequilla, grasa y jabonoso.

En la Figura 6.4 (Tablas A22 y A23) se han representado los VAOs globales de esta serie; así como el resultado del Anova (95% de confianza) realizado. Como puede observarse, los vinos de uva y el vino de frutilla (TF1) presentaron la mayor potencia odorante de la serie grasa. De todos ellos destacó con VAOs ≈ 30 el vino G5, elaborado con mosto procedente de uva Aramón, sometida a maceración pelicular. Además, para el resto de los vinos mencionados, el análisis de varianza distingue tres grupos homogéneos: el primero de ellos con VAOs ≈ 13 correspondería al vino G3, elaborado también con uva Aramón; el segundo con valores intermedios (VAOs ≈ 8) agrupa a los vinos G1 y G2, ambos elaborados parcialmente o en su totalidad con uva Cimarrona y el tercer grupo homogéneo con VAOs < 7 incluye a los vinos G4 y TF1.

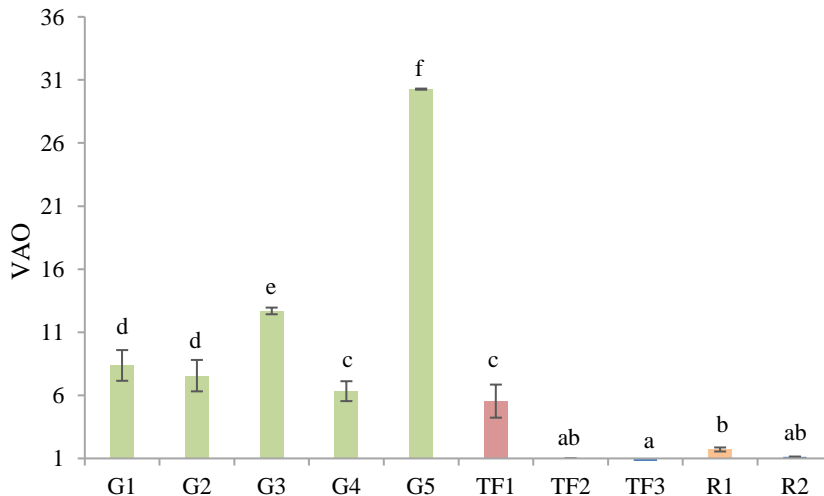


Figura 6.4. VAO total de la serie grasa de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Por otro lado, en los vinos de arroz los aromas de tipo graso presentaron una baja intensidad aromática ya que sus VAOs fueron ligeramente superiores a 1. Por último, los vinos de frutas tropicales TF2 y TF3 no presentaron actividad odorante para la serie grasa, dado que el VAO global de la serie fue inferior a 1.

De todos los metabolitos incluidos en la serie grasa, únicamente el octanal alcanzó VAOs superiores a 1. Este odorante también fue incluido en la serie vegetal y por lo tanto ya ha sido comentado anteriormente.

2.5. SERIE FLORAL

Los metabolitos que se incluyen en esta serie aromática aportan aromas que recuerdan a flores tales como jazmín, rosa, lavanda, lila, geranio y miel de flores. Sin embargo, estos odorantes no pertenecen a una única familia de compuestos químicos, sino a varias, entre las que se encuentran la de los alcoholes superiores (1-octanol, 2-feniletanol), terpenoides (linalol, α -terpineol, nerol, geraniol, farnesol 1-4), ésteres (succinato de dietilo, acetato de 2-feniletanol).

En la Figura 6.5 (Tabla A22 y A23) se muestran los VAOs globales de la serie floral para cada uno de los vinos estudiados. Como puede observarse, todos los vinos presentaron VAOs inferiores a 9 excepto el vino TF3, elaborado con mezcla de frutas, que alcanzó valores más altos y próximos a 12. Además, el resultado del Anova (95% de confianza) realizado sobre los VAOs globales de esta serie, para todos los vinos estudiados, diferenció 9 grupos homogéneos, señalando este resultado las diferencias tan significativas que existen entre vinos en cuanto a los aromas florales.

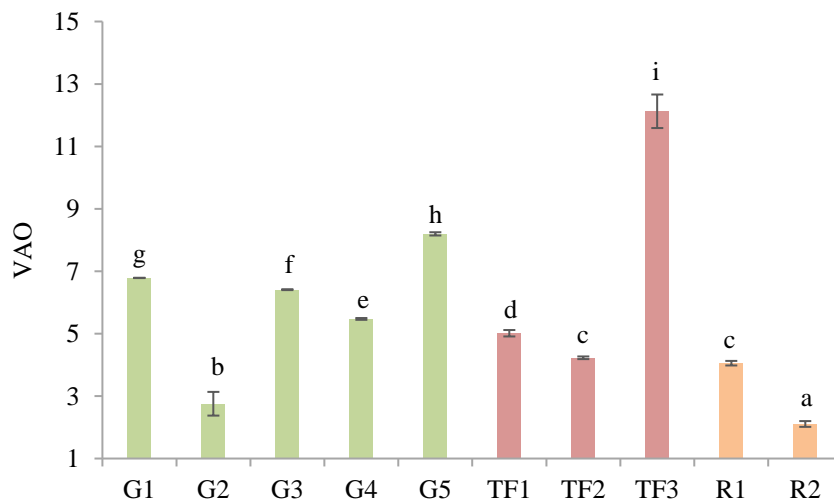


Figura 6.5. VAO total de la serie floral de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Particularizando en los vinos de uva, la mayor intensidad de los aromas florales, medida mediante el VAO global de la serie, se apreció en el vino elaborado con mosto de uva fresca Aramón (G5) que presentó VAO próximos a 8. Por el contrario, la menor intensidad la mostró el vino elaborado con uva Cimarrona (G2), con VAO inferiores a 3. Con valores intermedios, comprendidos entre 5 y 7, se situaron los vinos G1, G3 y G4; todos ellos elaborados con mosto procedente de uva parcial o totalmente botritizada. En este sentido, Ferreira & López (2019) indican que la infección por *Botrytis cinerea* modifica algunas enzimas del mosto que tienen efecto sobre el aroma.

En los vinos de frutas tropicales los VAOs globales de la serie global fueron significativamente diferentes, y variaron entre 4.23 (TF2) y 12.1 (TF3). Este amplio rango de valores está estrechamente relacionado con el tipo de fruta tropical empleado para la elaboración de estos vinos; ya que la mayoría de los metabolitos responsables de los aromas florales se encuentran presentes en la materia prima. Por último, el análisis de varianza ($p < 0.05$) también diferenció a los dos vinos de arroz estudiados, exhibiendo el vino R1 los valores de actividad odorante más altos (VAO = 4.05) y que prácticamente duplican a los alcanzados en el vino R2 (VAO = 2.11). Este hecho puede deberse a que los metabolitos responsables de los aromas florales se ven afectados por el proceso de torrefactado previo al que se somete el arroz para la elaboración del vino R2.

En las Tablas 6.8 y 6.9 se muestran los VAOs del 2-feniletanol, el geraniol y el acetato de 2-feniletanol, que son los odorantes con mayor impacto en la serie floral, aunque con algunos matices dependiendo de cada tipo de vino en particular. Estos metabolitos representan más del 90% del aroma floral de los vinos estudiados, siendo el 2-feniletanol el único odorante que presentó VAOs >1 para todos los vinos

Particularizando en los vinos de uvas (Tabla 6.8), estos tres odorantes en conjunto, llegaron a representar más del 99.5% del aroma floral. El 2-feniletanol presentó los valores de actividad odorante más altos que oscilaron entre 2.44 (G2) y 5.42 (G5), vinos elaborados con mosto de uva Cimarrona y Aramón, respectivamente. Estudios realizados por Moreno (2005) y Chaves (2012) en vinos elaborados con la variedad de uva Pedro Ximénez obtienen también VAOs próximos a 5 para este metabolito. Los alcoholes superiores suelen presentar aromas descritos como negativos, ásperos y alcohólicos (Falqué *et al.*, 2001), sin embargo, el 2-feniletanol, que es un alcohol producido mayoritariamente por las levaduras durante la fermentación, aporta a los vinos un agradable aroma a rosas y a miel; por lo que su impacto en el perfil aromático de los vinos es considerado positivo. En lo que respecta al acetato del 2-fenil etanol, únicamente fue odorante activo (VAO = 2.73) en el vino G1, aportándole notas florales a este vino. En este sentido Williams (1989) y Moyano *et al.* (2010) indican que este metabolito, no es un odorante clave del aroma de vinos como el Oporto o el Amontillado y sólo tras largos periodos de crianza, su participación puede ser tenida en cuenta. El geraniol, pertenece a la familia de los monoterpenoles, metabolitos que al pH del vino sufren numerosas reacciones de isomerización, ciclación, hidratación y oxidación que hacen que su presencia en los vinos sea muy variable (Rapp, 1998). En los vinos de uva G3, G4 y G5 los VAOs obtenidos fueron 2.08, 3.11 y 2.11, respectivamente, aportándoles notas aromáticas que recuerdan a la rosa y al geranio.

Tabla 6.8. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie floral, para los vinos de uva.

Metabolitos	Vinos de uva				
	G1	G2	G3	G4	G5
2-feniletanol	4.01±0.051	2.44±0.389	3.39±0.054	1.67±0.134	5.42±0.071
Acetato 2-feniletanol	2.73±0.055	0.294±0.009	0.869±0.138	0.681±0.109	0.641±0.054
Geraniol	0.0	0.0	2.08±0.068	3.11±0.053	2.11±0.034

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón

En los vinos de frutas tropicales los VAOs más altos de la serie floral se alcanzaron en el vino elaborado con mezcla de frutas pasificadas (TF3) con valores próximos a 8 y 3, para el geraniol y el 2-fenil etanol, respectivamente. En relación con los procesos de pasificación de las frutas Genovese *et al.* (2007) mostraron la influencia del grado de sobremaduración y secado de frutas con el incremento de aromas florales y frutales. En el vino de papaya, el 2-feniletanol también alcanzó VAOs próximos a 3, similares a los del vino anteriormente comentado. Estos valores son ligeramente más altos que los indicados por Lee *et al.* (2013) en vinos de papaya de la variedad Sekaki. Estas diferencias pueden estar relacionada con las características particulares de cada variedad ya que la L-fenilalanina es responsable de la formación de 2-feniletanol a través de la vía de Ehrlich (Etschmann *et al.*, 2008; Trinh *et al.*, 2010). Por último, para los vinos de arroz únicamente el 2-fenil etanol fue odorante activo (VAOs > 1), siendo el vino R1 el que mostró las notas florales más intensas, con valores de 3.60. Estos valores de actividad odorante son similares a los obtenidos por Xiao *et al.*, (2015) en varios vinos de arroz de origen chino, que apuntan a este alcohol como el mayoritario de estos vinos. Además, Chen *et al.* (2009) señalan que este metabolito actúa como potenciador del aroma floral de los vinos de arroz.

Tabla 6.9. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie floral, para los vinos de frutas tropicales y arroz.

Metabolitos	Vinos de frutas tropicales			Vinos de arroz	
	TF1	TF2	TF3	R1	R2
2-feniletanol	1.97±0.095	3.01±0.034	3.08±0.185	3.60±0.090	1.38±0.036
Acetato 2-feniletanol	0.912±0.053	1.01±0.048	1.0±0.068	0.187±0.011	0.721±0.131
Geraniol	2.06±0.054	0.0	8.0±0.417	0.248±0.002	0.0

TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.6. SERIE QUÍMICA

La serie aromática química, agrupa a aquellos metabolitos que presentar aromas individuales que recuerdan a pegamento, aceites de fusel, alcohol, esmalte de uñas,

sintético y barniz. Los metabolitos que aportan estos aromas y que se han incluido en esta serie odorante, pertenecen únicamente a dos familias químicas: ésteres (acetato de propilo, butanoato de metilo, acetato de butilo, acetato de hexilo) y alcoholes superiores (alcoholes isoamílicos, 1-pentanol, 2-metil-1-pentanol, 3-metil-1-pentanol, 1-octanol).

En la Figura 6.6 (Tabla A22 y A23) se muestra la suma de los VAOs individuales de todos los compuestos mencionados anteriormente; así como los diferentes grupos homogéneos que se obtienen al realizar el Anova al 95% de confianza sobre los VAOs globales de la serie química. Como puede observarse, los VAOs más altos, ligeramente superiores a 1 e inferiores a 2, se alcanzaron en los vinos de uva G1, G2 y G3 y en el vino elaborado con mezcla de frutas tropicales pasificadas (TF3).

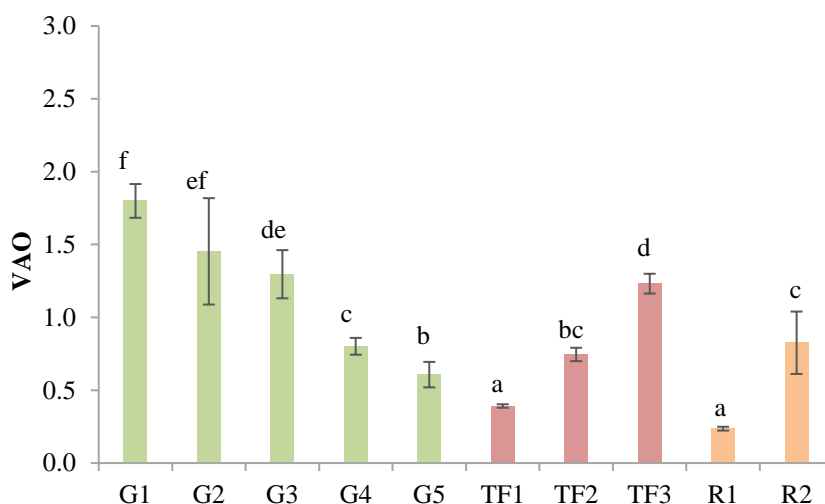


Figura 6.6. VAO total de la serie química de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Los vinos restantes mostraron valores de actividad odorante inferiores a 1, por lo que el aporte de notas químicas al perfil aromático de estos vinos es bajo, siendo los vinos TF1 y R1, con VAOs < 0.4 , los que menores valores alcanzaron, sin que se aprecien diferencias significativas entre ambos.

De todos los metabolitos incluidos en la serie química, únicamente el acetato de butilo fue odorante activo en dos vinos de uva (G1 y G2), aunque con muy baja intensidad aromática, ya que sus VAOs fueron ligeramente superiores a 1 (Tabla 6.10 y 6.11). En el resto de los vinos estudiados los VAOs fueron inferiores a 0.05, por lo que el aroma a pagamento no afectó de forma negativa al perfil aromático de estos vinos.

Tabla 6.10. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie química, para los vinos de uva.

Metabolitos	Vinos de uva				
	G1	G2	G3	G4	G5
Acetato de butilo	1.35±0.089	1.13±0.366	0.013±0.001	0.0	0.007±0.001

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón

Tabla 6.11. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie química, para los vinos de frutas tropicales y arroz.

Metabolitos	Vinos de frutas tropicales			Vinos de arroz	
	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Acetato de butilo	0.0	0.0	0.052±0.0	0.0	0.0

TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.7. SERIE EMPIREUMÁTICA

Los compuestos englobados en la serie empireumática fueron 4-metil-1-pentanol, 3-metil-1-pentanol, benzaldehído y *E*- y *Z*-lactona del roble. Estos metabolitos aportan a los vinos aromas descritos como tostado, cacao, ahumado y madera quemada. Los VAOs globales para la serie empireumática para los vinos estudiados se muestran en la Figura 6.7 (Tabla A22 y A23) y como se aprecia únicamente los vinos G1, G5 y R2, mostraron VAOs ligeramente superiores a 1. Además, el Anova realizado mostró diferencias significativas entre ellos, siendo el vino G1 el que presentó las notas empireumáticas más intensas.

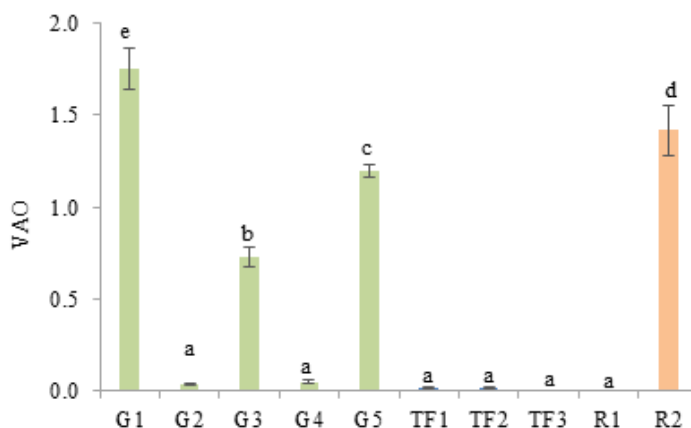


Figura 6.7. VAO total de la serie empireumática de los vinos cubanos estudiados

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición

de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*. De todos los metabolitos que se incluyen en la serie empireumática, la *E*-lactona del roble es el único odorante activo en algunos vinos (Tabla 6.12 y 6.13), particularmente en los tres mencionados anteriormente, a los cuales le aporta ligeras notas a madera quemada. En el caso particular del vino R2, este aroma está relacionado con el proceso de tostado que se le realiza al arroz previo a la fermentación.

Tabla 6.12. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie empireumática, para los vinos de uva.

Metabolitos	Vinos de uva				
	G1	G2	G3	G4	G5
<i>E</i> -lactona del roble	1.75±0.113	0.0	0.717±0.053	0.0	1.15±0.041

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón

Tabla 6.13. VAOs de los odorantes con mayor impacto en la serie empireumática, para los vinos de frutas tropicales y arroz.

Metabolitos	Vinos de frutas tropicales			Vinos de arroz	
	TF1	TF2	TF3	R1	R2
<i>E</i> -lactona del roble	0.0	0.0	0.0	0.0	1.37±0.125

TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

2.8. SERIE BALSÁMICA

En esta serie aromática únicamente se incluyen el *E*- y *Z*-nerolidol con aromas balsámicos; sin embargo, como puede observarse en las Tablas A22 y A23, los valores de actividad odorante son muy bajos, inferiores a 0.005 para todos los vinos, por lo que el aporte de estos metabolitos al perfil aromático es prácticamente despreciable.

3. HUELLA AROMÁTICA DE LOS VINOS

Por último, es interesante obtener la huella aromática de cada uno de los vinos estudiados ya que de esta forma se da una visión conjunta de todas las series aromáticas comentadas en el apartado anterior y además se estima la importancia relativa de cada serie en el aroma final (Ruiz, 2011). Dicha huella se ha obtenido mediante la representación del VAO total de cada una de las siete series aromáticas consideradas frutal, especiada, vegetal, grasa, floral, química y empireumática (Figura 6.8). Como puede observarse, los perfiles aromáticos de los vinos son diferentes, aunque teniendo en cuenta la potencia aromática de cada una de las series se pueden encontrar algunas

semejanzas entre vinos. Todos ellos tienen en común la elevada potencia aromática de los aromas frutales, con VAOs > 500 para todos los vinos excepto para el R2 (VAO = 291). En segundo lugar, se pueden definir tres grupos de vinos teniendo en cuenta las series con más intensidad aromática tras la frutal:

- Vinos con notas aromáticas secundarias especiadas (VAOs ≥ 40), y vegetales (VAOs ≥ 11) incluye los vinos G1, G2, G3 y TF1 y TF2.
- Vinos con notas aromáticas secundarias únicamente vegetales (VAOs ≥ 10), los vinos G4, G5, R1 y R2.
- Vino con notas secundarias florales, el vino TF3 (VAO = 12).

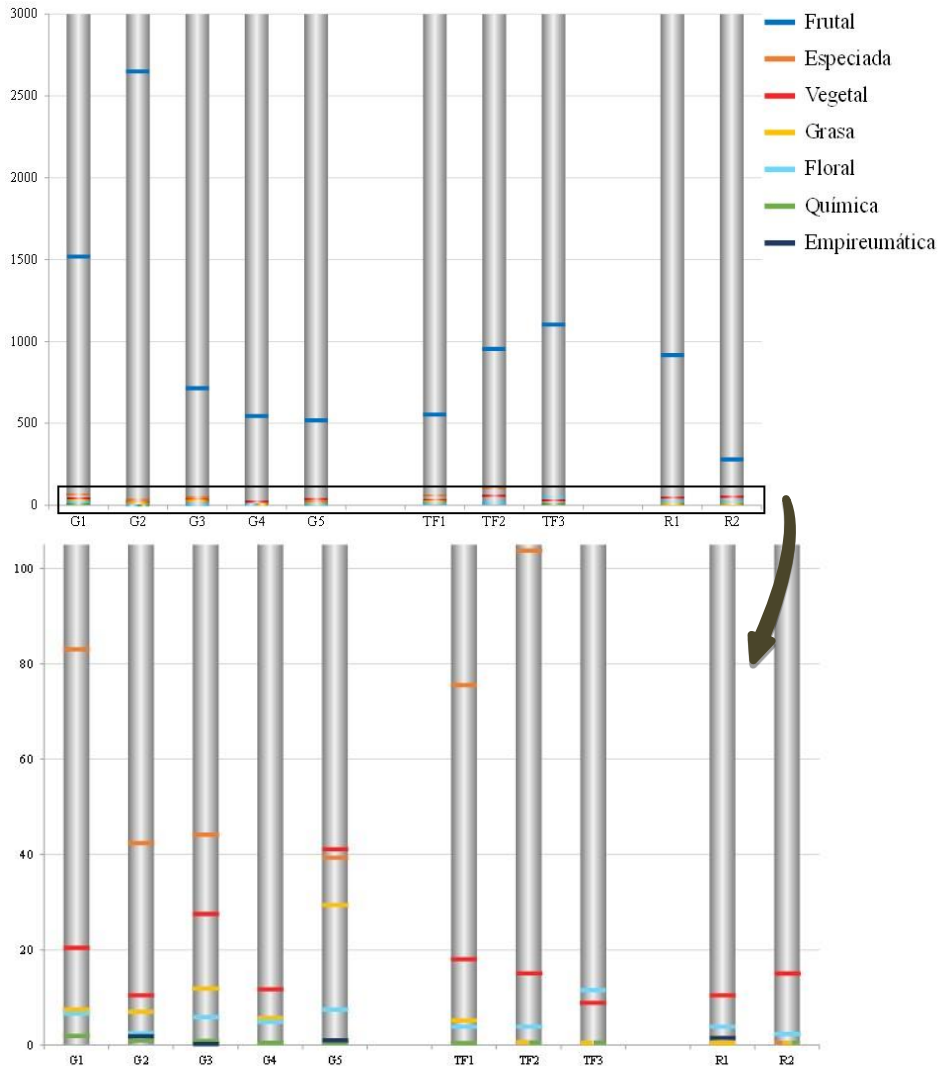


Figura 6.8. Huella aromática de los vinos de uva, frutas tropicales y arroz

Diferente letra en la columna indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

Por último, para evaluar con mayor precisión las diferencias en la huella aromática de los vinos cubanos estudiados, se ha realizado un análisis de componentes principales tomando como variables los valores de actividad odorante totales de las series aromáticas descritas anteriormente (Figura 6.9).

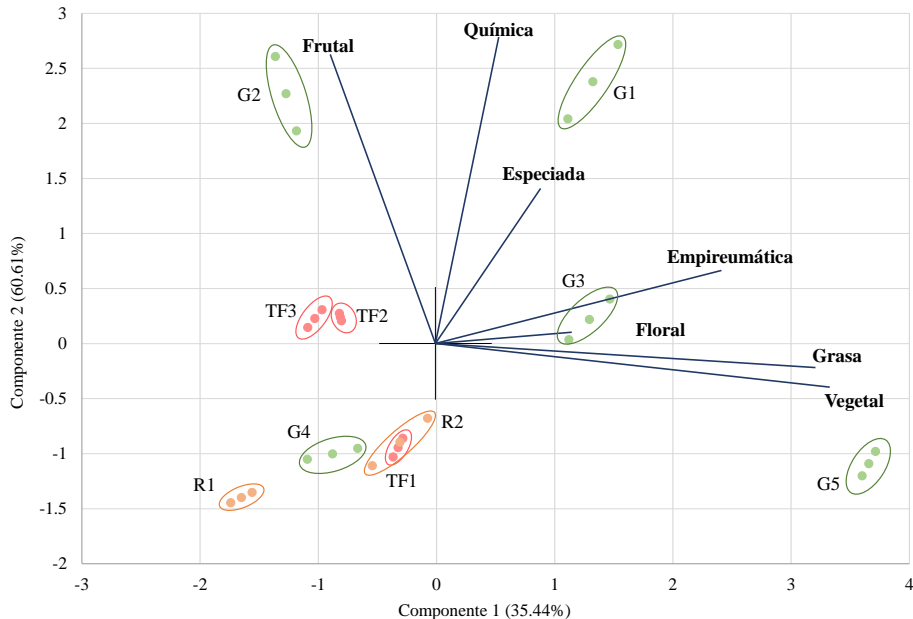


Figura 6.9. Análisis de componentes principales

G1 = uvas Aramón y Cimarrona con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G2 = uva Cimarrona; G3 = uva Aramón con *Botrytis cinerea* y con adición de virutas de *Rhizophora mangle* L.; G4 = uvas Aramón y Cimarrona pasificadas con *Botrytis cinerea*; G5 = uva Aramón; TF1= frutilla; TF2= papaya con adición de virutas de eucalipto; TF3 = frutas tropicales (carambola, papaya, saúco y cereza) y uvas Aramón y Cimarrona; R1 = arroz y fermentación con chaptalización posterior; R2 = arroz tostado y fermentación con *Aspergillus oryzae*

El análisis permitió extraer dos primeras componentes que explicaron el 96.0% de la variabilidad, recayendo sobre la segunda el 60.6%. La Figura 6.9 muestra las puntuaciones de los diferentes vinos en el plano definido por las dos componentes (CP1 y CP2). Esta segunda componente, está principalmente influenciada por las series frutal, química y especiada, mientras que en la primera influyen las series vegetal, grasa, empireumática y floral. Como se puede observar, en relación con la PC2, se pueden distinguir tres zonas bien diferenciadas y que agrupan a los diferentes vinos. La primera de ellas incluye a los vinos de uva G1 y G2, los cuales se sitúan alejados del resto de vinos por lo que es razonable admitir que éstos presentan un aroma más asociado a las notas frutales, químicas y especiadas que el resto de los vinos. La segunda zona agrupa, a los vinos G3, TF2 y TF3, si bien las puntuaciones obtenidas no se pueden asociar de forma muy clara con una serie aromática en particular. La tercera zona agruparía a los vinos de arroz R1 y R2, a los vinos de uva G4 y G5 y a TF1, asociados al aroma frutal. Sin embargo, la CP1 solamente separó de forma efectiva al vino G5 de los vinos G1 y G3 y estos a su vez de los restantes vinos estudiados.

4. CONCLUSIONES

1. Se han identificado 44 metabolitos volátiles, que se pueden agrupar según sus descriptores aromáticos en 8 series aromáticas: frutal, especiada, vegetal, grasa, floral, química, empireumática y balsámica.
2. La serie frutal incluye el mayor número de metabolitos odorantes, siendo además la que presentó los VAOs globales más altos y, por tanto, la que aporta la mayor intensidad odorante a la huella aromática de los vinos cubanos. Los compuestos clave más odorantes de esta serie pertenecían a la familia de ésteres, aportando notas a plátano, piña, fresa, manzana y pera.
3. Las series especiada y vegetal fueron las que mostraron una potencia odorante intermedia en la mayoría de los vinos, siendo sus compuestos clave fenoles volátiles con aromas a clavo, en la primera de ellas, y aldehídos y alcoholes en la segunda que aportan olores a hierba principalmente.
4. El resto de las series que incluye grasa, floral, química, empireumática y balsámica fueron las que menor intensidad aromática presentaron y por tanto las que menos influyen en la huella aromática de los vinos cubanos.
5. El análisis de componentes principales explicó el 96.0% de la variabilidad de la huella aromática de los vinos cubanos, obteniendo tres grupos en función de la componente 2 (60.6%) influenciada principalmente por las series frutal, especiada y química.

5. REFERENCIAS

- Armanino, C., Casolino, M. C., Casale, M., & Forina, M. (2008). Modelling aroma of three Italian red wines by headspace-mass spectrometry and potential functions. *Analytica Chimica Acta*, *614*, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.03.025>
- Bianchi, F., Careri, M., & Musci, M. (2005). Volatile norisoprenoids as markers of botanical origin of Sardinian strawberry-tree (*Arbutus unedo* L.) honey: Characterisation of aroma compounds by dynamic headspace extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Chemistry*, *89*, 527–532.
- Cao, Y., Xie, G., Wu, C., & Lu, J. (2010). A study on characteristic flavor compounds in traditional chinese rice wine-Guyue Longshan rice wine. *Journal of the Institute of Brewing*, *116*, 182–189. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00416.x>
- Chatonnet, P., Dubourdieu, D., Boidron, J. N., & Pons, M. (1992). The origin of ethylphenols in wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *60*, 165–178.
- Chaves, M. (2012). Uso de virutas de roble como sistema alternativo al envejecimiento en bodega de vinos Sherry tipo oloroso. Tesis Doctoral. Ed. *Universidad de Córdoba*, Córdoba (España).
- Chaves, M., Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (2007). Changes in color and odorants

- compounds during oxidative ageing of Pedro Ximénez sweet wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*, 3592–3598.
- Chen, J., Zhang, R., Wang, X., Luo, W., Mo, M., Wang, L., & Guan, Z. (2009). Effects of pulsed electric fields on phenols and colour in young red wine. *Spectroscopy Spectral Analysis*, *30*, 206–209.
- Cliff, M., Yuksel, D., Girard, B., & King, M. (2002). Characterization of Canadian ice wines by sensory and compositional analyses. *American Journal of Enology and Viticulture*, *53*, 46–53.
- Coelho, E., Perestrelo, R., Neng, N. R., Câmara, J. S., Coimbra, M. A., Nogueira, J. M. F., & Rocha, S. M. (2008). Optimisation of stir bar sorptive extraction and liquid desorption combined with large volume injection-gas chromatography–quadrupole mass spectrometry for the determination of volatile compounds in wines. *Analytica Chimica Acta*, *624*, 79–89. <https://doi.org/doi:10.1016/j.aca.2008.06.032>
- Etschmann, W., Bluemke, W., Sell, D., & Schrader, J. (2008). Bio- technological production of 2-phenylethanol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *59*, 1–8.
- Falqué, E., Fernández, E., & Dubourdiou, D. (2001). Differentiation of white wines by their aromatic index. *Talanta*, *54*, 271–281.
- Ferreira, V., Escudero, A., Fernández, P., & Cacho, J. F. (1997). Changes in the profile of volatile compounds in wines stored under oxygen and their relationship with the browning process. *European Food Research and Technology*, *205*, 392–396.
- Ferreira, V., & López, R. (2019). The actual and potential aroma of winemaking grapes. *Biomolecules*, *9*, 1–35. <https://doi.org/10.3390/biom9120818>
- Feuillat, F., Keller, R., Sauvageot, F., & Puech, J. L. (1999). Characterization of French oak cooperage (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* L.). Research of the study group on barrel-aging Burgundy wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, *50*, 513–518.
- Genovese, A., Gambuti, A., Piombino, P., & Moio, L. (2007). Sensory properties and aroma compounds of sweet Fiano wine. *Food Chemistry*, *103*, 1228–1236.
- Jagatić, A., Preiner, D., Tomaz, I., & Jeromel, A. (2020). Volatile profile characterization of Croatian commercial sparkling wines. *Molecules*, *25*, 1–24.
- Joshi, V. K., Attri, D., & Rana, N. S. (2011). Optimization of apple pomace based medium and fermentation conditions for pigment production by *Sarcina* sp. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, *2*, 421–427.
- Kanavouras, A., & Hernandez, R. J. (2006). The analysis of volatiles from thermally oxidized virgin olive oil using dynamic sorption-thermal desorption and solid phase micro-extraction technique. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*, 743–750.
- Lee, P. R., Chong, I., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2013). Effect of precursors on

- volatile compounds in papaya wine fermented by mixed yeasts. *Food Technology and Biotechnology*, *51*, 92–100.
- Liu, Y. D., & Ying, Y. B. (2005). Use of FT-NIR spectrometry in noninvasive measurements of internal quality of ‘Fuji’ apples. *Postharvest Biology and Technology*, *37*, 65–71.
- Loscos, N., Hernandez-Orte, P., Cacho, J., & Ferreira, V. (2010). Evolution of the aroma composition of wines supplemented with grape flavour precursors from different varieties during accelerated wine ageing. *Food Chemistry*, *120*, 205–216. <https://doi.org/doi:10.1016/j.foodchem.2009.10.008>
- Marquez, A., Serratos, M. P., Merida, J., Zea, L., & Moyano, L. (2014). Optimization and validation of an automated DHS-TD-GC-MS method for the determination of aromatic esters in sweet wines. *Talanta*, *123*, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.052>
- Martí, M., Mestres, M., Sala, C., Bustos, O., & Guasch, J. (2003). Solid-Phase microextraction and gas chromatography olfactometry analysis of successively diluted samples. A new approach of the aroma extract dilution analysis applied to the characterization of wine aroma. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *51*, 7861–7865.
- Moreno, J. A. (2005). Influencia del tipo de envejecimiento sobre el perfil aromático de vinos generosos andaluces. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba*. Córdoba (España).
- Moyano, L., Zea, L., Moreno, A., & Medina, M. (2010). Evaluation of the active odorants in Amontillado sherry wines during the aging process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*, 6900–6904. <https://doi.org/10.1021/jf100410n>
- Moyano, L., Zea, L., Moreno, J., & Medina, M. (2002). Analytical study of aromatic series in sherry wines subjected to biological aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 7356–7361.
- Moyano, L., Zea, L., Villafuerte, L., & Medina, M. (2009). Comparison of odor-active compounds in Sherry wines processed from ecologically and conventionally grown Pedro Ximenez grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*, 968–973.
- Moyano, L., Serratos, M. P., Marquez, A., & Zea, L. (2019). Optimization and validation of a DHS-TD-GC-MS method to wineomics studies. *Talanta*, *192*, 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.09.032>
- Noble, A., Arnold, R., Buechsenstein, J., Leach, E., Schmidt, J., & Stern, P. (1987). Modification of a standardized system of wine aroma terminology. *American Journal of Enology and Viticulture*, *38*, 143–146.
- Perestrelo, R., Fernandes, J. S., Albuquerque, A., Marques, F., & Camara, J.C. (2006). Analytical characterization of the aroma of Tinta Negra Mole red wine: identification of the main odorant compounds. *Analytica Chimica Acta*, *563*, 154–164.

- Rapp, A. (1998). Volatile flavour of wine: Correlation between instrumental analysis and sensory perception. *Nahrung*, *42*, 351–363.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donéche, B., & Lonvaud, A. (2000). Handbook of Enology. Vol. 1. The Microbiology of Wines and Vinifications. Ed. *John Wiley & Sons Ltd.*, Chichester (England).
- Roldán, M., Sánchez-García, F., Pérez-Rodríguez, L., & Palacios, M. (2021). Influence of different vinification techniques on volatile compounds and the aromatic profile of Palomino fino wines. *Foods*, *10*, 1–22.
- Ruiz, M. (2011). Actividad odorante de mostos procedentes de uvas cv. Pedro Ximénez pasificadas tradicionalmente y en condiciones controladas. Elaboración de vinos licorosos. Tesis Doctoral. Ed. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba*, Córdoba (España).
- Rupasinghe, H. P., Joshi, V., Smith, A., & Parmar, I. (2017). Chemistry of fruit wines. In: Science and Technology of Fruit Wine Production. Kosseva, M., Joshi, V. & Panesar, P. S. (eds.), Ed. *Academic Press*, Massachusetts (USA). <https://doi.org/DOI: 10.1016/B978-0-12-800850-8.01001-2>
- Siebert, T. E., Smyth, H. E., Capone, D. L., Neuwohner, C., Pardon, K. H., Skouroumounis, G. K., Herderich, M. J., Sefton, M. A., & Pollnitz, A. P. (2005). Stable isotope dilution analysis of wine fermentation products by HS-SPME-GC-MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *381*, 937–947.
- Swiegers, J. H., Bartowsky, P. A., Henschke, P. A., & Pretorius, I. S. (2005). Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavor. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *11*, 139–173.
- Trinh, T., Woon, W., Yu, B., Curran, P., & Liu, S. (2010). Effect of L-isoleucine and L-phenylalanine addition on aroma compound formation during longan juice fermentation by a co-culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Williopsis saturnus*. *South African Journal of Enology and Viticulture*, *31*, 116–124.
- Vianna, E., & Ebeler, S. (2001). Monitoring ester formation in grape juice fermentations using solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *49*, 589–595.
- Williams, A. A. (1989). Post-fermentative changes in wines with particular reference to the volatile flavour components of Sherry and Port. *International Symposium on the aromatic substances in grapes and wines*. S. Michele all' Adige, (Italy).
- Xiao, Z., Fang, L., Niu, Y., & Yu, H. (2015). Effect of cultivar and variety on phenolic compounds and antioxidant activity of cherry wine. *Food Chemistry*, *186*, 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.050>
- Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (2010). Changes in aroma profile of sherry wines during the oxidative ageing. *International Journal of Food Science and Technology*, *45*, 2425–2432. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02422.x>
- Zea, L., Moyano, L., & Medina, M. (2008). Odorant active compounds in Amontillado

wines obtained by combination of two consecutive ageing processes. *European Food Research and Technology*, 227, 1687–1692. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0894-y>

Zea, L., Moyano, L., Moreno, J. A., & Medina, M. (2007). Aroma series as fingerprints for biological ageing in fino sherry-type wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2319–2326. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2992>.

**CHAPTER VII. DEVELOPED
OF ANALYTICAL METHOD
BY RP-HPLC OPA FOR
AMINO ACIDS DETECTION IN
WINE**

1. INTRODUCTION

Amino acids are small chemical compounds of great importance for life. They are related to protein synthesis, are precursors of the aromatic components and are involved with the color expression of fresh and processed foods (Callejón *et al.*, 2010; Garde-Cerdán *et al.*, 2009; Valero *et al.*, 2003). Furthermore, amino acids together with proteins and peptides play an important role as nitrogen sources for yeast and lactic acid bacteria, respectively, during alcoholic and malolactic fermentations (Baumes, 2009; Garde-Cerdán *et al.*, 2009; Ribereau-Gayon *et al.*, 2006). Amino acids present in wines may have their origin in grape must or in the processes of alcoholic or malolactic fermentation, since they are vital to the metabolism of the yeasts fermented foods (Bell and Henschke, 2005). Besides, they have a well-known influence on wine quality as precursors of several volatile compounds (esters, higher alcohols, aldehydes and ketonic acids). In this sense, isoamyl, isobutyl and phenylethyl alcohols are derived from respectively leucine, isoleucine and valine (Hernández-Orte *et al.*, 2006).

Besides, it has shown that threonine, phenylalanine and aspartic acid are the amino acids which most influence in the fermentation process (Bell and Henschke, 2005; Hernández-Orte *et al.*, 2006). A relationship was demonstrated between the amino acid profile in grape juice and the concentration of some important volatile compounds in wine (Wang *et al.*, 2014). Several reports shown that the amino acids remaining in wine after fermentation have an influence on aromas during the wine ageing. In addition, several authors point out that wine amino acid composition can be used to identify types of wines, grape variety, geographical origin, vintage, etc. (Herbert *et al.*, 2006; Soufleros *et al.*, 2003; Torrea *et al.*, 2011). On the other hand, wines with high concentrations of residual amino acids are prone to microbiological instability and formation of new compounds such as biogenic amines and ethyl carbamate. These molecules have a negative impact on wine quality and are noxious to human health (Garde-Cerdán *et al.*, 2011; Herbert *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2014).

To date several methods have been developed to identify amino acids in foods, as well as: gas chromatography (GC), high-performance liquid chromatography (HPLC), capillary electrophoresis (CE) and liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (Callejón *et al.*, 2010; Kocadağlı *et al.*, 2013; Nana *et al.*, 2016; Rebane & Koit, 2010; Tan *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2014). However, some of these techniques are limited by the high cost of the equipment and they need highly qualified personnel for its use. HPLC is the most used analytical technique to detect and quantify amino acids in foods; but the great diversity of amino acids, the low concentration in the analyzed samples and the amino acids thermal instability, make direct analysis of these chemical compounds difficult. In these cases, amino acids derivatization pre- or post-column is needed to chemically modify them, which usually involves converting amino acids into derivatives detectable by fluorescence and ultraviolet spectroscopy (Nana *et al.*, 2016). Until now reversed-phase HPLC (RP-HPLC) with pre-column derivatization shows a high sensitivity; and it has been widely accepted due to the short analysis time, and low cost required. Typical reagents for precolumn derivatization are *o*-phthalaldehyde (OPA), chiral cyanates and isocyanates, *N*-carboxyanhydrides, and *N*-fluorenylmethoxycarbonyl chloroformates, among other compounds.

Each of these reagents have advantages and limitations (Hebergér *et al.*, 2003; Kelly *et al.*, 2010; Valero *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2014).

The most published data on free amino acid analysis in wines have been obtained using ninhydrin, phenylisothiocyanate (PITC) or *o*-phthalaldehyde/mercaptoethanol (OPA/MCE) as derivatizing reagents. Of all of them, OPA/MCE are the most used derivatizing reagent. Chemical reaction takes place almost instantaneously at room temperature and at alkaline pH (Jámbor & Molnár-Perl, 2009; Pereira *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2014). These methods provide a high sensitivity, selectivity and ease execution, however, in general they involve long analysis times (> 60 min) with flow-rates as high as 1.8 mL/min (Hebergér *et al.*, 2003; Herbert *et al.*, 2000; Kelly *et al.*, 2010; Zeng *et al.*, 2015).

In this chapter, chromatographic parameters such as: retention time, selectivity factor, specificity, as well as the data obtained through the analysis of international wines, are used to perform the statistical processing of the validation of the method used to detect free amino acids in Cuban wines, which are elaborated from different raw material and different winemaking process. These wines are highly commercialized in tropical countries, where endemic fruits are used as raw material in the fermentation processes of products with a high commercial demand and of growing recognition in international competitive events. Thus, with goal to develop a chromatographic method that allow optimizing the analysis methods for the characterization of Cuban wines, a rapid HPLC method, based on a pre-column OPA derivatization, has been developed and validated to identify and quantify the amino acids in these types of wines.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. REAGENTS

Acetonitrile, methanol, sodium hydroxide, sodium tetraborate, monobasic sodium phosphate, dibasic sodium phosphate, monobasic potassium phosphate and *o*-phosphoric acid were obtained from Riedel-de Haën (Seelze, Germany). β -mercaptoethanol, uffer solutions and *o*-phthalaldehyde (OPA) from Merck KGaA (Darmstadt, Germany).

The amino acid standards L-cysteine, L-leucine, L-isoleucine, L-phenylalanine, L-lysine, L-histidine, L-arginine, L-proline, L-alanine, L-glycine, L-aspartic acid, L-tyrosine, L-valine, L-serine, L-glutamine, L-tryptophan, L-asparagine, L-threonine, L-ornithine and hydrochloric acid and γ -aminobutyric acid (GABA) were obtained from Sigma Chemie (Steinheim, Germany). The aqueous solutions were prepared with ultrapure water purified in Millipore Simplicity 185 system equipment (Millipore, Milford, MA, USA). All reagents were of analytical quality.

2.2. SAMPLES

To evaluate the analytical capacity of the method, ten wines from several countries and elaborated with different raw material were analyzed (Table 7.1).

Table 7.1. Characteristics of the wines analyzed

Code	Raw material	Variety	Country	Year
Wine 1	red grape	Sauvignon	Chile	2015
Wine 2	red grape	Merlot	Chile	2013
Wine 3	red grape	Cabernet Sauvignon/Tempranillo	Spain	2012
Wine 4	red grape	Syrah	France	2013
Wine 5	red grape	Malbec	Argentina	2014
Wine 6	white grape	Sauvignon blanc	Spain	2014
Wine 7	white grape	Moscatel de Alejandría/Gewürztraminer	Spain	2013
Wine 8	white grape	Cuban grapes	Cuba	2015
Wine 9	tropical fruit	Papaya	Cuba	2016
Wine 10	tropical fruit	Frutilla	Cuba	2016

2.3. SAMPLE PREPARATION

The amino acids were detected by derivatization with OPA. 100 μL of individual solution of the amino acid mixture and/or the wine sample were taken under a nitrogen atmosphere. Subsequently, they were reacted with 100 μL of OPA reagent solution. The mixture was stirred for 30 seconds and immediately injected into the HPLC. The resulting mixture was protected from light and stored until use at 4 $^{\circ}\text{C}$.

2.4. HPLC SOLUTIONS PREPARATION

A solution of 950 mL of 50 mM monobasic sodium phosphate was prepared (buffer solution A). The pH was adjusted to 7.2 with phosphoric acid. Later it was completed to 1000 mL with distilled, filtered and degassed water. The buffer solution B was prepared using a mixture of 700 mL of absolute methanol + 300 mL of buffer solution A. The OPA solution were prepared by mixture of 30 mg of OPA reactive + 6 mL of tetraborate solution (0.1 M) + vortexing until dissolution of the OPA. Later 1 mL of methanol + stirring by 30 seconds + 30 μL of β -mercaptoethanol was added. A sodium tetraborate solution 0.4 M was prepared and adjusted to pH 10 with NaOH 1 M.

An amino acids standards solution was prepared by dissolving each amino acids in ultrapure water to obtain a final concentration of 1 mg/mL. The solution was stored at 4 $^{\circ}\text{C}$ until to be analyzed. From a standard solution of individual amino acids 1mg/mL, a mixture of amino acid solution was prepared by serial dilutions from: 10 $\mu\text{g/mL}$ (S1) to 0.16 $\mu\text{g/mL}$ (S7). Where $S_2 = S_1/2$; $S_3 = S_2/2$; $S_4 = S_3/2$; $S_5 = S_4/2$; $S_6 = S_5/2$ and $S_7 = S_6/2$. The final concentrations were: 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.312 and 0.16 $\mu\text{g/mL}$, respectively, for all amino acids except: Asn, Arg, Gly and Thr. The mixture of these amino acids was prepared for a final working concentration between 5 $\mu\text{g/mL}$ (S1) to 0.08 $\mu\text{g/mL}$ (S7), the intermediate concentrations were 2.5, 1.25, 0.62, 0.31, 0.16 and 0.08 $\mu\text{g/mL}$.

2.5. CHROMATOGRAPHIC EQUIPMENT AND PARAMETERS

A Shimadzu prominence (Shimadzu, Japan) High Resolution Liquid Chromatograph (HPLC) was used; equipped with a degasser, binary pump, autosampler, oven, fluorescence detector and thermostated column (Figure 7.1). The detection of amino acids was carried out at wavelengths (λ): $\lambda_{\text{excitation}}$: 345 and $\lambda_{\text{emission}}$: 455; gain x 4; filter sensitivity 1- and 30-degrees temperature. The HPLC system was controlled by Shimadzu software. Chromatographic analyzes were performed using a VP-ODS 150 mm x 4.6 mm, 4 μm column with a VP-ODS 4.6 \pm 0.3 μm column guard (Shimadzu, Japan). The injection volume was 5 μL . The working flow was set at 1.3 mL/min using a concentration gradient program (Time (T)-%B-curve): (0-10-concave); (35-65-convex); (45-90-convex)); with final gradient concentration of 10% B.

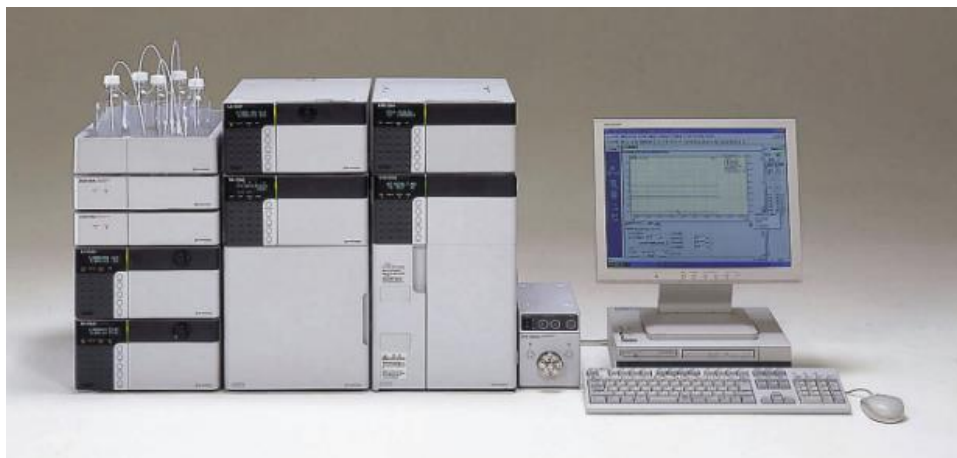


Figure 7.1. HPLC instrument used in the developed method.

2.6. METHOD VALIDATION

The established method was validated according to the recommendations of International Conference on Harmonization (ICH) and European Analytical Chemistry (EURACHEM) (EURACHEM, 1993, ICH, 1996).

The following parameters were evaluated: linearity, limit of detection (LD), limit of quantification (LQ), precision (within and between days), specificity and selectivity (AEFI, 2001; Huber, 1998). Linearity was assessed by preparing standard amino acid mixtures in five different concentrations and derived as above described. Calibration curves were obtained with Shimadzu HPLC software. To evaluate performance, intra and inter repeatability were determined by performing six injections of the same derived standard within one day and for three consecutive days. The standard deviation for the peak area was determined as a measure of precision. The individual amino acids, the amino acid mixture and the wine sample were analyzed using the method described above.

2.7. STATISTICAL ANALYSIS

All analyzes were performed in triplicate. The correlation coefficient and linear regression studies, repeatability evaluation, calculation of the average, limits of detection (LD), limits of quantification (LQ), standard deviation and relative standard deviation were performed with Microsoft Excel 2010 software.

3. METHOD VALIDATION

The validation of the established quantitative analytical method, for simultaneous amino acids determination in wines samples from different row material, region and winemaking processes, was carried out in agreement with Huber (1998) and following the International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use (ICH) guidance note. Which describes validation of analytical methods (ICH Topic Q2 (R1), 2005) by determining linearity, limits of detection (LOD), limits of quantification (LOQ), precision and accuracy. The obtained results and their interpretation are shown below, according to the statistical parameters analyzed.

Specificity. The method's specificity was studied comparing the retention times (Rt) between the standard amino acid solution (S2) versus the Rt' of the reference wine (wine 1) with standard solution S2 added, by triplicate. Figure 7.2 shows a chromatogram obtained under working conditions for the amino acids standard solution (S2). Some amino acids as Pro, His and Cys were not detected under working condition (Table 7.2).

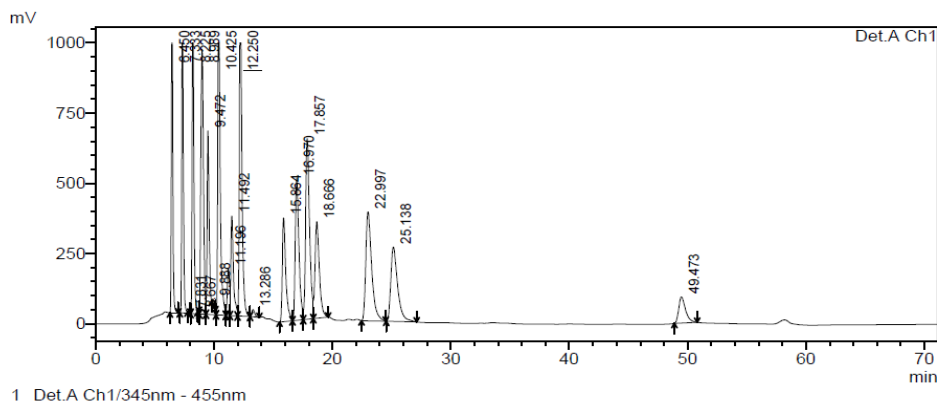


Figure. 7.2. HPLC chromatogram from the amino acid standard solution (S2) under working conditions. Peak assignments: (6.450) Asp, (7.333) Glu, (8.225) Asn, (8.989) Ser-Gln, (9.472) Arg, Thr-Gly, (10.425) Tyr, (12.250) Ala, (15.864) Trp, (16.970) Met, (17.857) Val, (18.666) Phe, (22.997) Ile, (25.138) Leu, (49.473) Lys.

The statistical parameters analyzed as Standard Deviation (SD) of the Rt values, from the amino acid standard solution, was ranged among 0.022 to 0.520. For the reference wine, with S2 solution added, the SD values of Rt' were ranged among 0.017 to 0.489. Furthermore, was determinate that difference between Rt and Rt' values was ranged

from 0.3 to 2.8%. These values are in agreement with Huber reports (Huber, 1998). Who determined that the acceptance values of this parameter should be less than $\pm 3\%$.

Table 7.2. Retention time (Rt) and Standard Deviation (SD) of the standard solution (S2) and reference wine 1 with S2 added. (nd = not detected).

n°	Amino acids	Standard solution (S2)		Wine 1 - S2 added		Difference (%)
		Rt (min)	SD	Rt'(min)	SD'	
1	Asp	6.450	0.027	6.436	0.035	1.4
2	Glu	7.333	0.030	7.314	0.043	1.9
3	Asn	8.225	0.033	8.205	0.042	2.0
4-5	Ser-Gln	8.989	0.041	9.015	0.037	-2.6
6	Arg	9.472	0.022	9.487	0.017	-1.5
7-8	Thr-Gly	10.425	0.036	10.402	0.071	2.3
9	Tyr	11.216	0.094	11.230	0.212	1.4
10	Ala	12.250	0.052	12.246	0.079	0.4
11	Trp	15.864	0.161	15.881	0.077	1.7
12	Met	16.970	0.186	16.950	0.206	2.0
13	Val	17.857	0.212	17.854	0.186	0.3
14	Phe	18.666	0.251	18.640	0.226	-2.6
15	Ile	22.997	0.399	22.970	0.381	2.7
16	Leu	25.138	0.520	25.110	0.418	-2.8
17	Lys	49.473	0.337	49.450	0.489	2.3
18	Pro	nd	nd	nd	nd	nd
19	His	nd	nd	nd	nd	nd
20	Cys	nd	nd	nd	nd	nd

Selectivity. The selectivity test determines whether a chromatographic peak is only due to the analyte of interest, not overlap between two adjacent peaks. The selectivity was calculated by means of the formula of chromatographic resolution, in which the retention times and the width of two adjacent peaks are considered. A chromatographic resolution between two nearby compounds, must be higher than 1.0. Usually, this chromatographic concept is called selectivity factor (α) (Huber, 1998; James, 2009; Khan *et al.*, 2016; Reason, 2003). This factor was evaluated by six replicates of the S2 standard solution during a working day in the same laboratory (repeatability/intra-assay precision) and by six replicates in different laboratory with different analysts, under the same chromatographic conditions (reproducibility). Table 7.3 lists the α values and as can be seen, only two peaks (Ser-Gln and Thr-Gly) showed a chromatographic resolution approximately equal to 1.0, indicating that they were not fully resolved and elute at similar retention time. The remaining peaks showed values $1 < \alpha \leq 2$, which means that were well resolved and the method have high selectivity for these amino acids.

Precision. Precision of a measurable technique is the degree of agreement among individual tests when the technique is applied repetitively to analyze multiple replicates in three different occasions. The intraday precision was assessed by analyzing the calibration curves of six replicates of different concentrations of SD within the same

day. The inter-day precision was determined by analyzing of six replicates of different concentrations of SD on three different days. In this study, precision was considered at two levels: repeatability and reproducibility (AEFI, 2001; Huber, 1998;). The results were expressed as relative standard deviation (SD and SD') and are list in Table 7.3. For all amino acids, the values of repeatability and reproducibility were lower than 0.019 and 0.030 respectively, indicating an adequate precision of the method.

Linearity. The linearity of an analytical procedure is defined as its ability (within a given range) to obtain test results that are directly proportional to the concentration (amount) of analyte in the sample (AEFI., 2001; Huber, 1998). In this study the linearity was evaluated using six amino acids standard solutions (S2 to S7), as described above, by triplicate. The data of amino acid peak area vs amino acid concentration were treated by linear least squares regression analysis, and the calibration curves were obtained using HPLC Shimadzu software. The obtained values of the calibration curves ($y = ax + b$) and correlation coefficient (R^2) for the standard amino acid solutions are shown in Table 7.4. All amino acids showed good linearity over the established concentration range with correlation coefficient quite good, over than 0.9993. The values were next to 1 (≥ 0.9997) for nine calibration curves and slightly lower (≥ 0.9993) for six.

Table 7.3. Selectivity factor values of six replicates, inter laboratories (α) and intra laboratories (α'), and respective standard deviation (SD, SD').

Amino acids	α 1	α 2	α 3	α 4	α 5	α 6	SD	α' 1'	α 2'	α 3'	α 4'	α 5'	α 6'	SD'
Asp														
Glu	1.136	1.136	1.137	1.135	1.134	1.137	0.001	1.136	1.137	1.136	1.14	1.142	1.136	0.001
Asn	1.120	1.120	1.119	1.12	1.118	1.119	0.002	1.119	1.123	1.132	1.121	1.123	1.132	0.012
Ser-Gln	1.004	1.006	1.004	1.004	1.006	1.006	0.003	1.001	1.000	1.000	1.001	1.007	1.004	0.003
Arg	1.054	1.054	1.049	1.054	1.054	1.049	0.002	1.052	1.054	1.057	1.052	1.054	1.057	0.002
Thr-Gly	1.003	1.000	1.001	1.003	1.002	1.001	0.013	1.004	1.002	1.001	1.003	1.002	1.002	0.011
Tyr	1.082	1.082	1.105	1.079	1.082	1.082	0.014	1.111	1.111	1.092	1.103	1.01	1.092	0.005
Ala	1.089	1.089	1.065	1.089	1.090	1.065	0.011	1.059	1.059	1.068	1.065	1.059	1.071	0.009
Trp	1.324	1.324	1.304	1.324	1.324	1.304	0.016	1.307	1.307	1.292	1.321	1.313	1.292	0.001
Met	1.041	1.041	1.069	1.041	1.047	1.069	0.002	1.068	1.067	1.066	1.068	1.046	1.071	0.001
Val	1.057	1.057	1.054	1.057	1.047	1.049	0.019	1.053	1.053	1.051	1.064	1.06	1.063	0.002
Phe	1.045	1.045	1.048	1.043	1.045	1.048	0.006	1.048	1.048	1.045	1.048	1.048	1.045	0.005
Ile	1.226	1.226	1.237	1.226	1.196	1.207	0.015	1.233	1.232	1.224	1.251	1.242	1.234	0.003
Leu	1.095	1.095	1.095	1.095	1.101	1.095	0.016	1.094	1.094	1.088	1.104	1.097	1.091	0.030
Lys	1.979	1.979	1.952	1.984	1.971	1.967	0.001	1.939	1.972	1.999	2.010	1.972	2.0	0.001

$\alpha = \frac{k'_b}{k'_a}$ Where k'a is the first compound to elute and k'b is the compound that elutes second (Guntuzweiny, 2000; Huber, 1998; Khan et al., 2016).

Table 7.4. Calibration curve, correlation coefficient (R^2), limits of detection (LOD) and limits of quantification (LOQ), for the standard amino acid solutions.

Amino acids	Calibration curve ($y = ax + b$)	R^2	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
Asp	$y = 1.2087 x - 0.3864$	0.9995	0.084	0.173
Glu	$y = 1.2880 x - 0.2539$	0.9999	0.052	0.109
Asn	$y = 1.1467 x - 0.6823$	0.9998	1.158	2.094
Ser-Gln	$y = 4.4332 x - 0.1039$	0.9997	0.119	0.244
Arg	$y = 1.4556 x + 0.1149$	0.9993	0.162	0.332
Thr-Gly	$y = 4.1099 x - 0.1634$	0.9994	0.990	1.820
Tyr	$y = 2.5984 x - 1.3637$	0.9997	0.790	1.440
Ala	$y = 7.7290 x - 0.3183$	0.9996	0.146	0.300
Trp	$y = 1.6489 x + 0.1434$	0.9998	0.408	0.805
Met	$y = 1.1470 x - 1.3650$	0.9998	0.319	0.639
Val	$y = 8.4202 x - 4.2724$	0.9997	0.432	0.851
Phe	$y = 1.4343 x - 0.5814$	0.9995	0.381	0.756
Ile	$y = 9.2105 x + 4.0849$	0.9996	0.349	0.695
Leu	$y = 1.1561 x + 0.2446$	0.9999	0.233	0.471
Lys	$y = 8.0851 x - 5.0093$	0.9999	2.280	4.220

Limits of detection and quantification. The LOD of an individual analytical procedure is defined as the lowest amount of analyte in a sample which can be detected but not necessarily quantified as an exact value. Moreover, LOQ is the lowest amount of analyte in a sample, which can be quantitatively determined with suitable precision and accuracy. LOD and LOQ were calculated based on the standard deviation of the response and the slope obtained from the calibration curve of each amino acid of the standard solution according to Huber (Huber, 1998). LOD and LOQ were calculated as $3.3 r/S$ and $10 r/S$, respectively, where S is the slope of the calibration curve and r is the standard deviation of regression equation intercept. The calculate values are listed in Table 7.4, LOD ranged from 0.052 mg/L (Glu) to 2.280 mg/L (Lys) and LOQ ranged from 0.109 mg/L (Glu) to 4.220 mg/L (Lys), showing the Glu and the Lys the lowest and the higher values, respectively for both limits.

Figure 7.3 show a representative chromatogram from a red, white and tropical fruit wine. It is possible to observe the differences in the concentrations of the amino acids detected, by comparing the intensity of the chromatographic peaks of the examples.

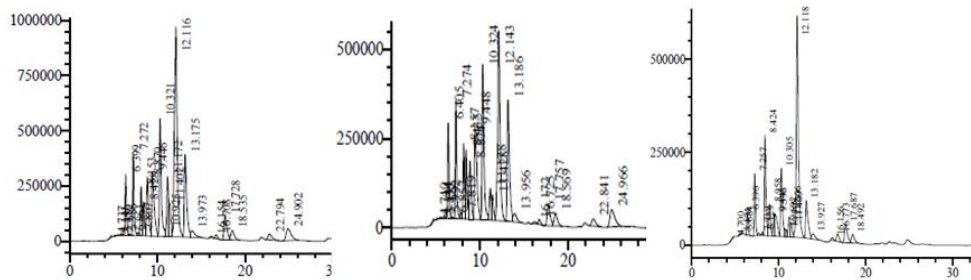


Figure 7.3. HPLC chromatogram obtained for wine 1 (a), wine 7 (b) and wine 9 (c), under working conditions.

The wine samples were analyzed by triplicate and the quantitative data for amino acids are shown in Figure 7.4 (Table A24). In wine 6, no amino acids were detected. For the rest wines analyzed, the amino acid concentrations were below 500 mg/L, approximately. Highest values of amino acids were found for arginine (456 mg/L) in wine 7 and for tyrosine (313 mg/L) and alanine (294 mg/L) in wine 1 wine. Besides, the alanine showed concentrations upper to 109 mg/L for all wines analyzed except for wine 9 (2.85 mg/L).

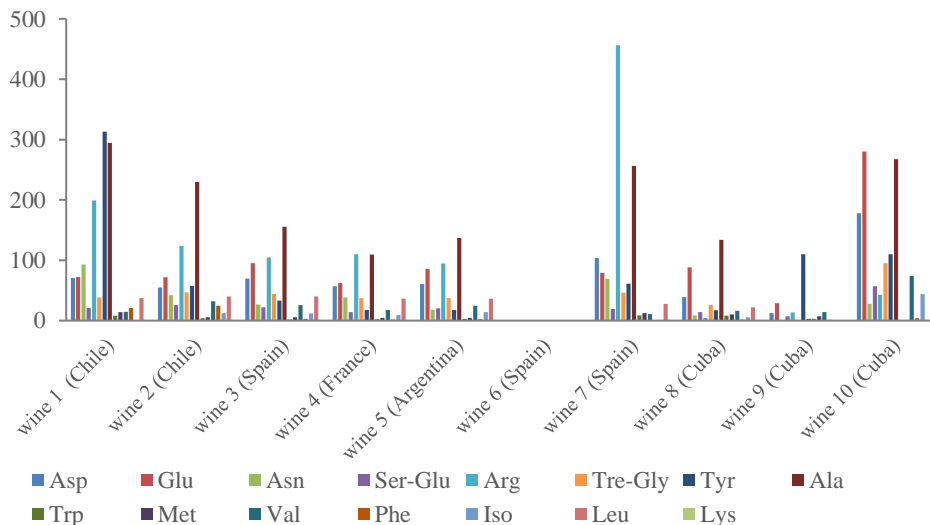


Figure 7.4. Concentration (mg/L) of amino acids in the ten international wines analyzed

In the opposite, in wine 8 (white grape) and wine 9 (papaya) lower contents of amino acids were observed regards other wines analyzed. It may be due to the raw material used, cultivation methods and elaboration process. Nevertheless, wine 10 (frutilla) showed the highest contents of glutamine (280 mg/L) and it was the unique wine with lysine amino acid detected (186 mg/L). Finally, the red wines (wine 2, wine 3, wine 4 and wine 5) presented similar amino acids contents, showing for all amino acid values less than 250 mg/L. Similar results were obtained by Kelly *et al* (2010), authors report determination of 24 amino acids in wine using derivatization with *o*-phthaldialdehyde, RP column, and a binary mobile phase. The method was validated in the range 0.25–10 mg/L; repeatability was less than 3% RSD and the intermediate precision ranged

from 2 to 7% RSD. The method was applied to grapes, white wine, red wine, honey and three species of physalis fruit.

4. CONCLUSIONS

1. The amino acids detection by derivatization with OPA and HPLC technique was successfully applied in wines elaborated with different raw material, origin and vintage
2. Calibration and validation were performed for the analyzed compounds and was demonstrated to be a linear, precise, accurate and sensitivity method. Therefore, this method could be a useful tool to determine amino acids in a wide range of wines.

5. REFERENCES

- AEFI (Asociación Española de Farmacéuticos de la Industria). (2001). *Validación de Métodos Analíticos, Monografía de AEFI*.
- Baumes, R. (2009). Wine aroma precursor. In: *Wine chemistry and biochemistry*. M. Moreno-Arribas & M. Polo (eds.), Ed. *Springer*, New York (USA).
- Bell, S., & Henschke, P. A. (2005). Implications of nitrogen nutrition for grapes , fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *11*, 242–295.
- Callejón, R. M., Troncoso, A. M., & Morales, M. L. (2010). Determination of amino acids in grape-derived products: A review. *Talanta*, *81*, 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.040>
- Garde-Cerdán, T., Lorenzo, C., Lara, J. F., Pardo, F., Ancin-Azpilicueta, C., & Salinas, M. R. (2009). Study of the evolution of nitrogen compounds during grape ripening. application to differentiate grape varieties and cultivated systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*, 2410–2419.
- Garde-Cerdán, T., Martínez-Gil, A. M., Lorenzo, C., Félix, J., Pardo, F., & Salinas, M. R. (2011). Implications of nitrogen compounds during alcoholic fermentation from some grape varieties at different maturation stages and cultivation systems. *Food Chemistry*, *124*, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.112>
- Hebergér, K., Csomós, E., & Simon-Sarkadi, L. (2003). Principal component and linear discriminant analyses of free amino acids and biogenic amines in hungarian wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 8055-8060.
- Herbert, P., Barros, P., Ratola, N., & Alves, A. (2000). A HPLC determination of amino acids in musts and port wine using OPA/FMOC derivatives. *Journal of Food Science*, *65*, 1130-1133.
- Herbert, P., Cabrita, M. J., Ratola, N., Laureano, O., & Alves, A. (2006). Relationship between biogenic amines and free amino acid contents of wines and musts from

- Alentejo (Portugal). *Journal of Environmental Science and Health Part B*, *41*, 1171–1186.
- Hernández-Orte, P., Ibarz, M. J., Cacho, J., & Ferreira, V. (2006). Addition of amino acids to grape juice of the Merlot variety : Effect on amino acid uptake and aroma generation during alcoholic fermentation. *Food Chemistry*, *98*, 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.073>
- Huber, L., (1999). Validation of Analytical Methods: Review and Strategy, LC-GC, , *BioPharmacy*, *12*, 64–66.
- Jámbor, A., & Molnár-Perl, I. (2009). Quantification of amino acids in plasma by high performance liquid chromatography: Simultaneous deproteinization and derivatization with 9-fluorenylmethyloxycarbonyl chloride: literature overview and further study. *Journal of Chromatography A.*, *1216*, 6218-6223.
- James, M. (2009). *Chromatography. Concepts and Contrasts.* (2nd ed.). Ed. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (England).
- Kelly, M. T., Blaise, A., & Larroque, M. (2010). Rapid automated high performance liquid chromatography method for simultaneous determination of amino acids and biogenic amines in wine, fruit and honey. *Journal of Chromatography A.*, *1217*, 7385-7392.
- Khan, F., Ahmad, I., Akhtar, M., Rauf, H. A., Altaf, H., & Hayat, M. M. (2016). RP-HPLC method development and validation for simultaneous determination of esomeprazole and diclofenac sodium in pharmaceutical dosage forms. *Journal of Pharmacy and Chemistry*, *49*, 788–794.
- Kocadağlı, T., Özdemir, K. S., & Gökmen, V. (2013). Effects of infusion conditions and decaffeination on free amino acid profiles of green and black tea. *Food Research International.*, *53*, 720-725.
- Nana, L., Yang, L., Yue, Z. ., Xinqiang, Z., Jianliang, L., & Yuerong, L. (2016). Simultaneous HPLC determination of amino acids in tea infusion coupled to pre-column derivatization with 2,4-Dinitrofluorobenzene. *Food Analytical Methods.*, *9*, 1307-1314.
- Pereira, V., Pontes, M., Câmara, J. S., & Marques, J. C. (2008). Simultaneous analysis of free amino acids and biogenic amines in honey and wine samples using in loop orthophthalaldehyde derivatization procedure. *Journal of Chromatography A.*, *1189*, 435-443.
- Reason, A. J. (2003). Validation of Amino Acid Analysis Methods. In: *Methods in Molecular Biology*. B. J. Smith (ed.).
- Rebane, R., & Koit, H. (2010). A sensitive method for free amino acids analysis by liquid chromatography with ultraviolet and mass spectrometric detection using precolumn derivatization with diethyl ethoxymethylenemalonate: Application to the honey analysis. *Analytica Chimica Acta*, *672*, 79–84.
- Ribereau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. & Dubourdieu, D. (2006). *Handbook of Enology*. Vol. 2. Alcohols and other volatile compounds. The chemistry of wine

- stabilization and treatments. *Ed. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (England).*
- Soufleros, E. H., Bouloumpasi, E., Tsarchopoulos, C., & Biliaderis, C. G. (2003). Primary amino acid profiles of Greek white wines and their use in classification according to variety, origin and vintage. *Food Chemistry*, *80*, 261–273.
- Tan, F., Tan, C., Zhao, A., & Li, M. (2011). Simultaneous determination of free amino acid content in tea infusions by using high-performance liquid chromatography with fluorescence detection coupled with alternating penalty trilinear decomposition algorithm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*, 10839-10847.
- Torrea, D., Varela, C., Ugliano, M., Ancin-Azpilicueta, C., Leigh Francis, I., & Henschke, P. A. (2011). Comparison of inorganic and organic nitrogen supplementation of grape juice - Effect on volatile composition and aroma profile of a Chardonnay wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Food Chemistry*, *127*, 1072–1083. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.092>
- Valero, E., Berlanga, T. M., Roldán, P. M., Jiménez, C., García, I., & Mauricio, J. C. (2005). Free amino acids and volatile compounds in vinegars obtained from different types of substrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*, 603-608.
- Valero, E., Millán, C., Ortega, J. M., & Mauricio, J. C. (2003). Concentration of amino acids in wine after the end of fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*, 830–835. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1417>
- Wang, Y. Q., Ye, D. Q., Zhu, B. Q., Wu, G. F., & Duan, C. Q. (2014). Rapid HPLC analysis of amino acids and biogenic amines in wines during fermentation and evaluation of matrix effect. *Food Chemistry*, *163*, 6-15. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.foodchem.2014.04.064>.
- Zeng, F., Ou, J., Huang, Y. F., Li, Q., Xu, G. Z., Liu, Z. Z., & Yang, S. H. (2015). Determination of 21 free amino acids in fruit juices by HPLC using a modification of the 6-aminoquinoly1-N-hydroxysuccinimidyl carbamate (AQC) method. *Food Analytical Methods*, *8*, 428-437.

ANEXOS

Tabla A1. Determinaciones generales, media y desviación estándar, de los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
pH	3.49±0.035	3.30±0.035	3.61±0.021	3.10±0.035	3.49±0.007	3.35±0.063	3.73±0.049	3.86±0.042	3.30±0.007	3.70±0.000
Acidez total (meq/L)	20.0±0.070	17.0±0.007	11.0±0.00	14.0±0.070	14.0±0.00	14.3±0.141	10.5±0.070	9.45±0.070	13.4±0.070	16.4±0.000
Acidez volátil (meq/L)	1.63±0.00	1.06±0.00	1.44±0.00	0.960±0.00	0.963±0.00	0.771±0.00	1.07±0.00	1.06±0.00	1.06±0.00	0.963±0.00 0
Grado alcohólico (%etanol v/v)	4.55±0.070	5.55±0.212	6.25±0.353	13.6±0.00	4.10±0.148	5.70±0.00	5.95±0.070	9.80±0.00	6.25±0.070	4.74±0.063

Tabla A2. Valores de densidad óptica (u.a.) a 280, 420 y 520 nm media y desviación estándar de los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
A280 nm	29.0±0.01	12.9±0.042	24.3±0.113	13.8±0.219	16.3±0.282	5.92±0.067	6.45±0.196	25.1±0.00	8.71±0.077	24.5±0.346
A420nm	1.66±0.02	1.03±0.046	1.33±0.003	0.461±0.018	1.14±0.042	0.30±0.000	0.390±0.036	1.74±0.021	0.36±0.015	2.54±0.045
A520 nm	1.07±0.010	0.793±0.017	0.688±0.019	0.204±0.018	0.574±0.028	0.085±0.004	0.151±0.002	0.673±0.017	0.079±0.012	1.66±0.004

Tabla A3. Puntuaciones obtenidas en la valoración del color de los vinos cubanos de tonos rojos estudiados.

	G1	G2	G3	R2
Ladrillo	6	14	2	4
Oro oscuro	2	0	14	0
Granate oscuro	12	6	4	16

Tabla A4. Puntuaciones medias obtenidas en los atributos de la fase visual de los vinos cubanos de tonos rojos estudiados.

	G1	G2	G3	R2
Limpidez	1.4	2	2	1.8
Transparencia	1.7	2.2	1.5	1.2
Brillo	2	2	2	1.2
Intensidad	2	2	2.1	2.8

Tabla A5. Puntuaciones obtenidas en la valoración del color de los vinos cubanos de tonos amarillos estudiados.

	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1
Oro viejo	1	2	9	11	10	8
Ámbar	13	18	2	1	10	2
Dorado	6	0	9	8	0	10

Tabla A6. Puntuaciones medias obtenidas en los atributos de la fase visual de los vinos cubanos de tonos amarillos estudiados.

	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1
Limpidez	2	2.8	2.1	2	2.1	1.9
Transparencia	2.3	2.6	2.45	2.4	2.5	2.4
Brillo	1.5	2.8	1.6	2	2.6	1.5
Intensidad	2.4	2.25	1.8	1.9	2.5	1.75

Tabla A7. Puntuaciones obtenidas en los atributos de la fase olfativas de los vinos cubanos de tonos rojos estudiados.

	G1	G2	G3	R2
Desagradable	0	4	0	6
Agradable	10	12	10	8
Muy Agradable	10	4	10	6

Tabla A8. Puntuaciones obtenidas en los descriptores de las series olfativas de los vinos cubanos de tonos rojos estudiados.

	G1	G2	G3	R2
Frutal	6	16	6	6
Especiado	6	6	12	10
Floral	8	4	8	6
Caramelizado	16	4	14	8
Ahumado	2	6	2	10
Vegetal	6	8	6	4
Balsámico	8	4	6	10

Tabla A9. Puntuaciones obtenidas en los atributos de la fase olfativas de los vinos cubanos de tonos amarillos estudiados.

	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1
Desagradable	0	0	2	6	0	4
Agradable	14	16	14	11	9	14
Muy Agradable	6	4	4	3	11	2

Tabla A10. Puntuaciones obtenidas en los descriptores de las series olfativas de los vinos cubanos de tonos amarillos estudiados.

	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1
Frutal	9	4	6	6	8	13
Especiado	3	8	5	8	6	4
Floral	4	4	4	4	4	4
Caramelizado	11	5	11	4	13	6
Ahumado	3	6	0	0	0	0
Vegetal	4	6	6	3	3	9
Balsámico	0	0	6	6	4	0

Tabla A11. Puntuaciones medias obtenidas en los atributos de la fase gustativa de los vinos cubanos de tonos rojos estudiados.

	G1	G2	G3	R2
Impresión global	1.5	2.1	2.5	1.5
Acidez	1.4	1.8	2.0	1.5
Dulzor	1.8	1.7	2.2	1.1
Persistencia	1.7	1.6	2.1	2.1

Tabla A12. Puntuaciones medias obtenidas en los atributos de la fase gustativa de los vinos cubanos de tonos amarillos estudiados.

	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1
Impresión global	2.55	1.85	2.00	2.10	2.75	2.00
Acidez	2.0	1.85	2.00	1.85	2.15	1.60
Dulzor	2.55	1.65	1.35	1.70	2.75	1.40
Persistencia	1.9	2.20	1.95	2.05	2.20	1.65

Tabla A13. Concentración (mg/L), media y desviación estándar, de minerales totales (TMC), aminoácidos totales (TAAC), compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
TMC	181±2.28	218±7.66	291±0.642	424±18.2	170±7.50	252±0.023	308±14.8	162±1.70	176±4.34	246±1.79
TAAC	3265±96.2	6233±242	2174±122	287±1.30	1169±12.6	1795±50.3	381±36.1	872±34.4	620±8.64	418±13.7
TPC (mg GAE/L)	904±31.8	377±7.26	817±9.98	287±8.17	480±9.08	195±9.08	197±0.91	426±96.2	214±2.72	2250±1.82
ABTS (mg TE/L)	2519±28.4	1208±100	2176±28.4	537±24.1	1602±12.5	417±29.2	326±5.43	1277±59.1	377±27.2	2526±15.8
DPPH (mg TE/L)	294±1.39	200±1.48	294±0.67	170±7.03	298±1.44	103±7.01	66±1.84	259±5.37	14.7±2.16	292±1.13

Tabla A14. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de los alcoholes superiores identificados mediante extracción en fase sólida de los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
2-feniletanol	74266 \pm 4125	147452 \pm 4679	64456 \pm 3589	5301 \pm 1767	76435 \pm 2464	21292 \pm 11829	82618 \pm 2618	111656 \pm 6231	168620 \pm 9367	24159 \pm 853
2-metilpropanol	62478 \pm 2826	45261 \pm 34826	898 \pm 216	75057 \pm 2519	12817 \pm 713	865 \pm 288	29942 \pm 999	24737 \pm 8246	4753 \pm 713	7033 \pm 397
1-butanol	1813 \pm 453	442 \pm 12.1	152 \pm 6.01	nd	290 \pm 97.3	194 \pm 12.4	262 \pm 31.4	1204 \pm 31.2	nd	1458 \pm 81.0
3-metilbutanol	1021453 \pm 44411	671723 \pm 5338	86180 \pm 434	718197 \pm 3989	1862 \pm 2186	50315 \pm 27953	292504 \pm 16254	1184142 \pm 62323	nd	167220 \pm 929
1-pentanol	nd	nd	nd	nd	61.1 \pm 2.05	nd	nd	nd	nd	75.2 \pm 25.1
3-metilpentanol	nd	nd	57.2 \pm 19.1	nd	163 \pm 54.0	nd	nd	nd	nd	nd
1-hexanol	4756 \pm 268	nd	483 \pm 136	nd	816 \pm 272	nd	nd	nd	nd	2696 \pm 899
3-etoxipropanol	nd	nd	nd	nd	136 \pm 45.2	nd	nd	nd	nd	113 \pm 38.1
1-hexen-3-ol	324 \pm 18.1	nd	nd	nd	23.8 \pm 8.21	nd	nd	nd	nd	nd
2-etilhexanol	nd	nd	101 \pm 34.0	383 \pm 128	147 \pm 49.1	191 \pm 64.2	324 \pm 18.1	nd	278 \pm 93.3	176 \pm 59.0
1,3-butanediol	nd	nd	nd	15898 \pm 8832	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1-octanol	nd	nd	nd	190 \pm 63.0	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1-metionol	499 \pm 166	1523 \pm 58.0	151 \pm 5.00	nd	302 \pm 22.0	117 \pm 39.5	414 \pm 138	nd	2900 \pm 1227	nd
Σ Alcoholes (mg/L)	1166	866	152	815	93.1	73.0	406	1322	177	203

Tabla A15. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de los ésteres identificados mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Acetato de isoamilo	4193 \pm 1823	nd	282 \pm 12.3	298 \pm 26.0	nd	nd	716 \pm 239	nd	171877 \pm 846	292 \pm 97.0
Hexanoato de etilo	nd	nd	nd	nd	66.2 \pm 22.1	34.2 \pm 12.8	nd	nd	nd	35.1 \pm 12.0
Lactato de etilo	44103.5 \pm 4712	33343.3 \pm 1754	5235 \pm 199	nd	23758 \pm 7919	19942 \pm 179	76932 \pm 3674	73031 \pm 2381	8950 \pm 549	11597 \pm 3866
Acetoacetato de etilo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	88.0 \pm 29.1	nd	nd	nd
3-hidroxiacetato de metilo	nd	nd	nd	172 \pm 12.0	nd	nd	109 \pm 29.0	nd	nd	nd
3-hidroxiacetato de etilo	nd	nd	72.2 \pm 15.5	277 \pm 11.5	136 \pm 45.0	36.8 \pm 12.7	109 \pm 36.0	nd	nd	nd
Benzoato de etilo	nd	nd	36.0 \pm 12.0	nd	84.1 \pm 28.1	23.1 \pm 8.11	72.0 \pm 24.0	nd	nd	nd
Succinato de dietilo	11584 \pm 2516	12817 \pm 613	10540 \pm 150	38393 \pm 18282	30152 \pm 12.1	4168 \pm 106	4275 \pm 0.010	12134 \pm 579	44088 \pm 2994	4079 \pm 1360
4-hidroxiacetato de etilo	2194 \pm 988	5039 \pm 2400	nd	nd	nd	nd	nd	2398 \pm 1845	nd	nd
Isobutanoato de bencilo	nd	nd	55.8 \pm 18.3	nd	nd	nd	nd	2169 \pm 723	nd	nd
Acetato de 2-feniletanol	nd	nd	638 \pm 213	2497 \pm 71.6	777 \pm 42.0	814 \pm 271	4588 \pm 2185	nd	nd	521 \pm 174
Dihidrocinnamato de etilo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	281 \pm 94.0	nd
Malato de dietilo	844 \pm 281	nd	nd	2160 \pm 131	nd	nd	nd	1625 \pm 125	nd	1212 \pm 673
2-hidroxiacetato de dietilo	412 \pm 137	603 \pm 21.4	115 \pm 38.1	269 \pm 90.0	120 \pm 4.00	96.0 \pm 32.1	105 \pm 17.0	324 \pm 18.0	334 \pm 111	100 \pm 33.0
Tartrato de dietilo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	695 \pm 32	nd	nd
Succinato de etilo	205849 \pm 18342	317925 \pm 167329	101331 \pm 5416	469789 \pm 2694	191173 \pm 63724	44560 \pm 2479	125799 \pm 6988	417909 \pm 21952	669850 \pm 2553	73420 \pm 473
Σ Ésteres (mg/L)	666	670	118	514	246	69.7	213	510	895	91.3

Tabla A16. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de compuestos fenólicos identificados mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
4-etilfenol	1190 \pm 496	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Siringol	nd	172 \pm 57.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Alcohol hidroxinámico	nd	nd	nd	nd	nd	nd	74896 \pm 203	4169 \pm 705	89.1 \pm 13.0	22.1 \pm 2.01
Etil vanilina	881 \pm 22.0	nd	447 \pm 112	174077 \pm 9679	2028 \pm 676	340 \pm 113	3320 \pm 117	4023 \pm 1341	nd	nd
Vanilina	7222 \pm 247	nd	1968 \pm 490	nd	nd	74 \pm 25.1	nd	3546 \pm 1182	nd	nd
Triptofol	nd	610 \pm 23.1	nd	1733 \pm 56.1	188 \pm 63.2	nd	nd	nd	nd	283 \pm 94.3
Tirosol	11355 \pm 597	27804 \pm 926	10348 \pm 574	15566 \pm 864	18980 \pm 147	2969 \pm 12.9	14118 \pm 275	17762 \pm 93.3	32314 \pm 179	3685 \pm 24.7
Σ C. Fenólicos (mg/L)	20.6	28.6	12.8	191	21.2	3.38	92.3	29.5	32.4	3.99

Tabla A17. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de los ácidos identificados mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Ácido isobutanóico	nd	nd	nd	784 \pm 291	234 \pm 78.1	68.1 \pm 23.0	1519 \pm 84.0	nd	nd	nd
Ácido butanóico	nd	nd	nd	nd	142 \pm 47.0	nd	240 \pm 74.2	nd	nd	nd
Ácido hexanóico	1557 \pm 249	404 \pm 135	142 \pm 44.1	122519 \pm 6866	165 \pm 55.1	134 \pm 45.0	107 \pm 43.1	1024 \pm 156	691 \pm 116	nd
Ácido octanóico	2086 \pm 369	915 \pm 35.0	137 \pm 43.0	1893 \pm 63	56 \pm 19.3	193 \pm 64.0	320 \pm 21.0	1815 \pm 254	nd	nd
Ácido decanóico	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	325 \pm 81.1	nd	nd
Ácido linoleico	3215 \pm 43.0	nd	nd	nd	nd	nd	9116 \pm 564	6855 \pm 2285	nd	nd
Σ Ácidos (mg/L)	6.86	1.32	0.279	125	0.597	0.395	11.3	10.0	0.691	nd

Tabla A18. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de los aldehídos identificados mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Hexanal	980 \pm 32.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	928 \pm 101	nd	nd
Furfural	1323 \pm 60.1	404 \pm 126	174 \pm 54.1	1377 \pm 459	285 \pm 95.0	nd	441 \pm 21.0	nd	nd	125 \pm 4.20
Benzaldehído	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	154759 \pm 1200	nd	nd
5-hidroxiacetilfurfural	3295 \pm 978	4042 \pm 1263	2948 \pm 456	nd	nd	nd	nd	33888 \pm 827	19185 \pm 198	nd
<i>p</i> -hidroxibenzaldehído	nd	125 \pm 13.0	71.0 \pm 34.0	nd	66.0 \pm 12.1	nd	39.1 \pm 4.00	nd	854 \pm 66.3	222 \pm 99.8
Σ Aldehídos (mg/L)	5.59	4.57	3.19	1.38	0.351	nd	0.480	190	20.0	0.347

Tabla A19. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de los terpenos identificados mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
α -terpineol	nd	nd	80.0 \pm 27.1	nd	120 \pm 4.01	nd	nd	nd	nd	nd
1,8-cineol	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	810 \pm 27.0	nd	nd
Σ Terpenos (mg/L)	nd	nd	0.08	nd	0.12 \pm	nd	nd	0.81	nd	nd

Tabla A20. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de las cetonas identificadas mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
3-penten-2-ona	nd	2773 \pm 567	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Acetoína	5227 \pm 143	1034 \pm 3.48	nd	nd	nd	nd	860 \pm 169	2252 \pm 69.8	nd	560 \pm 12.2
2-furilmetilcetona	nd	nd	19.0 \pm 1.01	nd	23.0 \pm 4.00	nd	nd	639 \pm 65.1	nd	nd
Benzopirazona	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1062 \pm 4.43	nd
Σ Cetonas (mg/L)	5.23	3.81	0.019	nd	0.023	nd	0.860	2.89	1.06	0.560

Tabla A21. Concentración ($\mu\text{g/L}$), media y desviación estándar, de las lactonas identificadas mediante extracción en fase sólida en los vinos cubanos estudiados.

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
γ -butirolactona	2615 \pm 617	5129 \pm 163	189 \pm 27.1	5238 \pm 746	1283 \pm 228	230 \pm 27.0	3361 \pm 321	1325 \pm 253	3690 \pm 538	822 \pm 174
γ -decalactona	nd	nd	nd	nd	488 \pm 163	nd	nd	366 \pm 92.0	nd	nd
Massoia lactona	nd	nd	147 \pm 46.1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Σ Lactonas (mg/L)	2.62	5.13	0.336	5.24	1.77	0.230	3.36	1.69	3.69	0.822

Tabla A22. VAOs, media y desviación estándar, de los metabolitos volátiles identificados en los vinos cubanos estudiados

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Acetato de propilo	nd	nd	0.034±0.005	nd	nd	nd	0.019±0.002	nd	nd	0.029±0.006
Butanoato de metilo	nd	nd	0.103±0.009	nd	nd	nd	0.103±0.000	nd	nd	0.031±0.002
Alcoholes isoamílicos	0.179±0.034	0.154±0.013	0.255±0.004	0.224±0.020	0.193±0.028	0.179±0.004	0.207±0.017	0.266±0.007	0.229±0.013	0.200±0.002
Isobutanoato de etilo	nd	nd	5.81±0.526	4.82±0.090	3.24±0.540	10.5±0.285	nd	nd	nd	1.952±0.269
1-pentanol	0.261±0.007	0.173±0.012	0.595±0.185	0.571±0.038	0.271±0.067	0.207±0.016	0.358±0.060	0.440±0.048	nd	0.564±0.219
Acetato isobutilo	0.040±0.003	0.021±0.000	0.025±0.010	0.018±0.003	0.010±0.002	0.016±0.015	0.008±0.001	0.014±0.001	0.024±0.008	0.018±0.009
Hexanal	7.19±1.236	3.81±1.57	12.2±2.23	4.76±2.57	8.96±0.440	14.0±1.821	15.0±0.263	6.14±0.622	9.87±2.457	5.50±2.66
Ácido butanoico	0.068±0.000	0.068±0.000	0.068±0.000	0.068±0.000	0.210±0.013	0.068±0.000	0.068±0.000	0.068±0.000	0.706±0.143	0.068±0.000
Butanoato de etilo	174±11.5	176±3.28	116±19.0	34.1±11.1	81.8±2.53	139±14.1	77.7±0.176	84.3±7.50	78.7±4.64	39.9±0.492
Acetato butilo	1.35±0.089	1.13±0.366	0.013±0.001	nd	0.007±0.001	nd	nd	0.052±0.000	nd	nd
2-metil 1-pentanol	0.001±0.000	nd	0.002±0.000	0.001±0.000	0.005±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000
4-metil 1-pentanol	nd	nd	0.002±0.000	nd	0.003±0.000	nd	nd	0.001±0.000	0.001±0.001	0.002±0.002
3-metil 1-pentanol	0.002±0.000	0.001±0.000	0.002±0.000	0.001±0.000	0.002±0.000	0.003±0.000	0.002±0.000	0.001±0.000	0.002±0.000	0.001±0.000
E-3-hexenol	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Z-3-hexenol	5.61±0.405	0.094±0.052	4.15±1.24	1.40±0.680	4.56±0.012	0.244±0.061	0.115±0.002	3.25±0.014	0.229±0.016	9.36±0.815
Acetato de isoamilo	69.6±4.732	34.3±1.73	76.0±3.71	43.0±2.14	35.9±3.05	38.6±5.51	61.2±1.61	187±12.8	35.4±2.95	20.6±3.00
Benzaldehído	nd	0.043±0.005	0.008±0.001	0.045±0.009	0.045±0.006	0.021±0.002	0.020±0.003	nd	nd	0.046±0.008
Ácido hexanoico	nd	nd	nd	nd	0.440±0.005	0.678±0.022	0.734±0.034	nd	0.592±0.003	0.689±
Hexanoato de Etilo	62.1±7.03	61.7±6.45	30.3±0.605	61.1±0.523	46.1±0.878	71.5±5.13	481±0.849	286±11.1	580±46.8	99.8±2.74
Octanal	7.95±1.22	7.19±1.25	12.1±0.267	6.05±0.759	29.4±0.069	4.58±1.28	nd	nd	nd	0.218±0.003
Lactato de etilo	0.005±0.000	nd	0.003±0.000	nd	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	nd	nd	nd
Acetato de hexilo	nd	nd	0.291±0.002	nd	0.129±0.008	nd	0.052±0.005	0.459±0.025	nd	nd

Tabla A22. Continuación

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Butanoato de isoamilo	3.55±0.127	7.10±0.223	4.67±0.258	0.066±0.000	2.47±0.435	6.16±0.094	2.694±0.349	0.066±0.000	0.066±0.000	1.73±0.069
1-octanol	0.003±0.000	nd	0.002±0.000	0.004±0.000	0.000	0.001±0.000	0.002±0.000	0.012±0.001	0.004±0.000	0.000
Heptanoato de etilo	0.128±0.014	nd	0.056±0.004	nd	0.053±0.001	nd	0.071±0.002	0.147±0.008	nd	0.022±0.004
Linalol	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.199±0.040	nd	nd	nd
2 feniletanol	4.01±0.051	2.44±0.389	3.39±0.054	1.67±0.134	5.42±0.071	1.97±0.095	3.01±0.034	3.08±0.185	3.60±0.090	1.38±0.036
Ácido octanoico	0.270±0.009	0.271±0.009	0.238±0.007	0.166±0.026	0.174±0.016	0.185±0.008	0.018±0.002	0.195±0.011	0.218±0.010	0.057±0.001
Succinato de dietilo	0.043±0.002	0.016±0.000	0.009±0.000	0.004±0.000	0.008±0.001	0.018±0.005	0.007±0.000	0.035±0.003	0.006±0.002	0.003±0.002
Octanoato de etilo	1232±273	2398±76.7	494±8.46	4010±25.0	358±15.1	298±63.0	347±6.99	563±54.3	238±28.5	126±6.47
α -terpineol	nd	nd	0.042±0.001	nd	nd	0.047±0.002	nd	nd	0.012±0.003	nd
Nerol	nd	0.001±0.000	0.004±0.000	nd	0.002±0.000	0.002±0.000	0.002±0.000	nd	0.002±0.000	nd
Neral	1.72±0.142	0.321±0.001	0.970±0.054	0.247±0.007	0.760±0.010	0.526±0.014	0.656±0.028	1.28±0.138	0.093±0.001	nd
Geraniol	nd	nd	2.08±0.068	3.11±0.053	2.11±0.034	2.06±0.054	0.000	8.003±0.417	0.248±0.002	0.000
Acetato de 2-feniletanol	2.73±0.054	0.294±0.009	0.869±0.138	0.681±0.109	0.641±0.054	0.912±0.053	1.01±0.048	0.998±0.068	0.187±0.011	0.721±0.131
<i>E</i> -lactona del roble	1.75±0.113	nd	0.717±0.053	nd	1.15±0.041	nd	nd	nd	nd	1.37±0.125
<i>Z</i> -lactona del roble	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ácido decanoico	0.072±0.010	0.029±0.000	0.179±0.009	0.038±0.002	0.040±0.000	0.027±0.001	0.035±0.001	0.112±0.002	0.189±0.003	0.030±
Eugenol	81.8±5.07	43.3±0.985	nd	nd	nd	39.5±0.864	67.0±2.80	nd	nd	nd
Metilengol	nd	nd	0.006±0.000	0.004±0.000	0.022±0.001	nd	nd	nd	nd	nd
Isoeugenol	nd	nd	44.0±2.10	nd	38.8±1.51	36.5±1.79	37.5±1.60	nd	nd	nd
<i>E</i> -nerolidol	nd	nd	0.001±0.000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<i>Z</i> -nerolidol	nd	nd	n.d.	nd	0.003±0.000	nd	nd	nd	nd	nd
Farnesol 1-4	nd	nd	0.019±0.002	nd	0.019±0.001	nd	nd	nd	nd	nd

Tabla A23. VAOs globales, media y desviación estándar, de las series aromáticas obtenidas en los vinos cubanos estudiados

	G1	G2	G3	G4	G5	TF1	TF2	TF3	R1	R2
Frutal	1546±297	2678±77.6	729±32.6	553±34.5	530±19.9	565±88.2	970±7.64	1122±23.1	933±73.6	291±11.5
Especiada	83.5±5.18	43.3±0.985	44.7±2.15	0.004±0.000	39.9±1.51	76.0±2.65	104±1.20	0.000±0.000	0.000±0.000	1.37±0.125
Vegetal	20.8±2.86	11.1±2.77	28.4±3.20	12.2±4.01	42.9±0.520	18.9±0.479	15.1±0.265	9.39±0.608	10.1±2.44	15.1±3.48
Grasa	8.37±1.22	7.56±1.24	12.7±0.264	6.33±0.788	30.3±0.044	5.54±1.31	0.980±0.039	0.388±0.013	1.71±0.159	1.12±0.029
Floral	6.79±0.005	2.76±0.380	6.41±0.014	5.47±0.029	8.20±0.052	5.01±0.103	4.23±0.043	12.1±0.537	4.05±0.073	2.11±0.092
Química	1.80±0.116	1.45±0.365	1.30±0.166	0.801±0.058	0.607±0.087	0.392±0.012	0.746±0.046	1.23±0.068	0.236±0.013	0.826±0.214
Empireumática	1.75±0.112	0.043±0.005	0.729±0.054	0.046±0.009	1.20±0.035	0.025±0.002	0.022±0.003	0.002±0.000	0.002±0.001	1.42±0.134
Balsámica	0.000±0.000	0.000±0.000	0.001±0.000	0.000±0.000	0.003±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000

Table A24. Concentration (mg/L), mean and standard deviation, of the amino acids present in international wines used in the validation of the HPLC amino acid detection method using OPA as derivatizing agent.

	wine 1	wine 2	wine 3	wine 4	wine 5	wine 6	wine 7	wine 8	wine 9	wine 10
Asp	72.5±0.64	55.2±1.21	69.3±1.26	56.9±0.24	62.7±2.44	0.000	106±4.40	37.7±2.34	14.3±2.94	179±3.65
Glu	74.2±2.81	73.9±2.75	99.7±5.69	63.1±1.51	93.9±6.30	0.000	79.9±1.12	90.2±2.24	30.2±2.20	287±9.04
Asn	96.3±3.34	44.6±4.72	26.9±0.27	38.3±1.31	21.6±3.94	0.000	66.1±2.21	10.3±1.52	0.000	30.6±1.48
Ser-Glu	21.0±1.14	27.5±2.95	23.0±2.23	15.2±1.57	20.7±1.02	0.000	20.0±2.61	21.2±6.86	6.01±1.82	68.3±12.97
Arg	203±8.15	135±12.0	108±3.65	114±5.50	100±5.24	0.000	437±19.12	4.24±0.06	11.4±2.12	73.9±6.87
Tre-Gly	36.4±2.21	50.8±3.66	46.9±2.53	38.5±3.78	41.4±4.41	0.000	42.7±3.24	29.1±5.11	0.000	88.0±2.99
Tyr	300±13.05	66.5±8.73	27.5±5.74	18.0±2.25	17.7±2.57	0.000	58.6±2.54	16.8±2.23	99.3±11.37	124±12.12
Ala	302±13.33	244±25.67	149±5.28	114±6.65	140±13.97	0.000	245±11.35	132±6.98	13.5±0.30	261±27.41
Trp	6.93±2.02	3.97±0.35	2.45±0.83	2.64±0.58	4.20±2.52	0.000	5.84±5.06	7.84±0.83	3.18±0.60	10.8±9.41
Met	12.8±1.66	6.74±1.09	5.64±0.14	5.32±1.88	4.51±0.43	0.000	11.4±1.28	10.4±0.52	7.05±1.01	40.4±4.77
Val	15.7±1.16	34.4±2.41	25.9±1.40	22.1±4.61	20.6±5.51	0.000	9.88±1.62	15.6±1.27	11.3±4.40	71.4±7.29
Phe	22.6±2.03	2.02±0.41	2.39±0.51	1.32±0.33	2.94±1.51	0.000	1.91±0.73	1.57±0.50	0.36±0.35	3.99±0.86
Iso	0.000	13.4±2.57	10.4±2.83	9.48±1.18	17.4±6.20	0.000	0.00	5.09±0.55	0.000	41.8±3.82
Leu	40.4±3.33	42.2±3.36	33.2±13.53	35.1±1.85	34.0±3.71	0.000	26.7±2.36	20.8±1.61	0.000	93.7±6.86
Lys	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	186±1.46

