

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**PROYECCIONES DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
COMPOSICIÓN FENÓLICA EN BAYAS DE *Vitis vinifera* L.**

MAXIMILIANO EDUARDO TAYLOR LABRAÑA

Santiago, Chile
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**PROYECCIONES DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
COMPOSICIÓN FENÓLICA EN BAYAS DE *Vitis vinifera* L.**

**PROJECTIONS OF THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON PHENOLIC
COMPOSITION IN BERRIES OF *Vitis vinifera* L.**

MAXIMILIANO EDUARDO TAYLOR LABRAÑA

Santiago, Chile
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**PROYECCIONES DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
COMPOSICIÓN FENÓLICA EN BAYAS DE *Vitis vinifera* L.**

Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo
Mención Enología

MAXIMILIANO EDUARDO TAYLOR LABRAÑA

Profesores Guías	Calificaciones
Sr. Elías Obreque-Slier Ingeniero Agrónomo, Enólogo, Dr.	6,8
Sra. Marcela Medel Marabolí Ingeniera Agrónoma, Enóloga, Dra.	7,0
Profesores Evaluadores	
Sr. Álvaro Peña-Neira Ingeniero Agrónomo, Enólogo, Dr.	7,0
Sr. Juan Manuel Uribe Meneses Ingeniero Agrónomo	6,5

Santiago, Chile
2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el amor incondicional entregado día a día por del señor Toby Luck, la compañía de Dixie Land, y la felicidad de Clayman Cleyton Clapton. Sin ellos este trabajo hubiera sido imposible.

Agradezco a mi Mamá, Smik, por entregarme esa visión sentimental de lo racional, y por todos esos cariños y abrazos construidos. A mi Papá por entregarme el cariño por la ciencia, por la visión racional de lo sentimental, y por que el origen de este estudio es producto de su mente. Al Petineli por ordenar la pequeña bibliografía, y por su buen sentido del humor. Al Tebito por su tranquila compañía y su mirada elegante-humorística del mundo.

A Javiera Suárez por su amor y compañía en este periplo de altos y bajos momentos. A Karina Galleguillos, Orlando Macari y Fabian (Fabio) por su buen humor compartido, e innumerables agradables almuerzos.

A mis Profesores guías Elías Obreque y Marcela Medel por su excelente disposición a participar y solucionar dudas, además por sus comentarios e ideas constructivas que hicieron de este estudio lo que es. Al profesor Álvaro Peña por su excelente disposición a participar y solucionar dudas, y asimismo por recordar los valiosos valores humanos dentro de la sala de clases.

A el Ñaño, Aldo, Cheva, Juan, Ratón y Felipe por acompañarme en la construcción de nueva música y por obligarme a destapar botellas de fermentados y destilados, semana a semana (o más seguido). A Francisca Urra y Roberto Álvarez por colaborar con las traducciones Español-Inglés. A Romina Vera por su amistad a larga distancia. A Rubén Moreno por esos mates conversados y a Karol Zúñiga por la valiosa información y risas entregadas.

Al profesor Juan Manual Uribe, por su excelente disposición a participar en este estudio, solucionando dudas y entregando comentarios constructivos. Al profesor Fernando Santibáñez, y a Don Hugo por su buena disposición a solucionar problemas.

A todos los que estuvieron en algún momento, y a los que ya no están, muchas gracias.

INDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN	5
Objetivo.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Lugar de estudio.....	7
Materiales.....	7
Métodos.....	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
I. Descripción de los compuestos fenólicos en bayas de <i>Vitis vinifera</i> L.....	9
1. Definición, clasificación, síntesis y evolución de los compuestos fenólicos.....	9
1.1 Definición de los compuestos fenólicos.....	9
1.2 Clasificación de los compuestos fenólicos.....	9
1.2.1 Los compuestos no flavonoides	9
1.2.1.1 Los ácidos fenólicos.....	9
1.2.1.2 Los estilbenos.....	10
1.2.2 Los flavonoides	11
1.2.2.1 Los flavonoles	11
1.2.2.2 Los flavanonoles y flavonas.....	12
1.2.2.3 Los antocianos.....	13
1.2.2.4 Los flavanoles (taninos condensados o proantocianidinas)	14
1.3 Síntesis y evolución de los compuestos fenólicos	16
1.3.1 Síntesis de los compuestos fenólicos	16
1.3.2 Evolución de los compuestos fenólicos	18
2. Importancia de los compuestos fenólicos	19
2.1 Importancia organoléptica.....	19
2.2 Importancia farmacológica	19
2.3 Otras propiedades de los compuestos fenólicos.....	20
3. Factores que afectan la composición y síntesis de los compuestos fenólicos.....	21
3.1 Variedad	21
3.2 Manejo agronómico y vigor.....	21
3.3 Ácido Abscísico (ABA).....	21
3.4 Suelo.....	22
3.5 Temperatura	22
3.6 Luz.....	22
3.7 Disponibilidad hídrica.....	23
II. Descripción del cambio climático	25
1. Descripciones del cambio climático.....	25
1.2 Forma de acción de cambio climático.....	27
1.2.1 Efecto invernadero	27
1.2.2 Capa de ozono	29
2. Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura, el agua y la luz (UV)	30
2.1 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura.....	30
2.1.1 Escenarios IEEE.....	31

2.1.2 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura en Chile	34
2.2 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre el agua	36
2.2.1 Escorrentía.....	36
2.2.2 Precipitaciones y vapor de agua.....	38
2.2.3 Humedad del suelo y evaporación	40
2.2.4 Glaciares y nieve	41
2.3 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la luz UV	42
III. Efecto del cambio climático sobre los metabolitos primarios y secundarios.....	43
1. Efecto sobre los metabolitos primarios	43
2. Efecto sobre los metabolitos secundarios: compuestos fenólicos.....	44
2.1 Proyecciones del efecto del cambio climático a nivel mundial: temperatura.....	44
2.2 Proyecciones del efecto del cambio climático a nivel mundial: agua.....	46
2.3 Proyecciones del efecto del cambio climático a nivel mundial: luz UV.....	47
3. Consecuencias del cambio climático sobre las características sensoriales de color, amargor y astringencia de los vinos chilenos	48
3.1 Efecto de la temperatura.....	48
3.2 Efecto del agua	49
3.3 Efecto de la luz UV	50
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53

RESUMEN

Los compuestos fenólicos son moléculas responsables de importantes características organolépticas en las bayas y vinos, tales como el color, la astringencia y el amargor. La síntesis y composición de estos compuestos, está fuertemente determinada por distintos factores, tales como, los manejos agronómicos, cultivar y condiciones edáficas y climatológicas.

Durante el siglo XX, se ha observado que algunas variables climáticas han mostrado un cambio cuantificable, lo que podría estar estrechamente relacionado con la modificación en la síntesis de los compuestos fenólicos, y por ende sobre las propiedades sensoriales en que ellos participan. A pesar de la alta relevancia de lo anteriormente expuesto, existe limitada información que estudie la relación entre el efecto del cambio climático y la composición fenólica de bayas de *Vitis vinifera* L.

En este estudio, se analizó la información existente sobre el comportamiento de las variables de temperatura, agua y luz UV. Las fuentes de información fueron diversas, entre ellas, estaciones meteorológicas, escritos científicos e instituciones y organismos gubernamentales. Luego de esto, se relacionaron diversas proyecciones de estos cambios climáticos con la concentración y composición de los compuestos fenólicos y consecuentemente sobre las propiedades sensoriales en bayas de *Vitis vinifera* L.

A partir de los resultados de este estudio, se concluye que el efecto del cambio climático ocasionaría un aumento sostenido de la temperatura ambiental y una menor disponibilidad de agua de riego en las zonas vitivinícolas chilenas. Es interesante notar que para el caso de la irradiación UV, no se proyectan cambios significativos hasta mediados del siglo XXI.

Finalmente, es posible proyectar que estas modificaciones repercutirán en la concentración y composición fenólica, lo que generaría cambios sobre algunas características organolépticas, conduciendo generalmente, a detrimentos sobre el color, y modificaciones sobre el amargor y astringencia de las bayas de *Vitis vinifera* L.

Palabras clave: Compuestos fenólicos, características organolépticas, temperatura, disponibilidad de agua, irradiación UV.

ABSTRACT

The phenolic compounds are molecules responsible for important organoleptic characteristics on berries and wines, such as color, astringency and bitterness. The synthesis and composition of these compounds are strongly influenced by various factors, such as the agricultural management, cultivar and soil and climatic conditions.

During the twentieth century, it has been observed that some climatic variables have shown a measurable change, which could be closely related to the change in the synthesis of phenolic compounds, and thus on the sensory properties in which they participate. Despite the high relevance of the above, there is limited information to study the relationship between the effect of climate change and the phenolic composition in berries of *Vitis vinifera* L.

In this study, was analyzed the existing information about the behavior of the variables of temperature, water and UV light. Information sources were diverse, including weather stations, scientific writings and institutions and government agencies. After that, were related various projections of these climatic changes with the concentration and composition of phenolic compounds and consequently on sensory properties in berries of *Vitis vinifera* L.

From the results of this study, it is concluded that the effect of climate change would cause an sustained increase in the ambient temperature and reduced availability of water irrigation in the Chilean wine regions. Interestingly, that in the case of UV irradiation, no significant changes are projected to midcentury.

Finally, it is possible to project that these modifications will affect phenolic concentration and composition, generating some changes on organoleptic characteristics, generally leading, to detriments on color, and modifications on bitterness and astringency of the berries of *Vitis vinifera* L.

Key word: Phenolic compounds, organoleptic characteristics, temperature, water availability, UV irradiation.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos son responsables del color (Zamora, 2003), la astringencia (Mateus *et al.*, 2004) y el amargor (Peleg *et al.*, 1999), de las bayas de *Vitis vinifera* L. y por ende del vino, lo que repercute en las características organolépticas de este alimento. Asimismo, le otorgan al vino propiedades antioxidantes, anticancerígenas, y antiinflamatorias, entre otras (Boots *et al.*, 2008; Crespo *et al.*, 2008; Stintzing y Carle, 2004). La clasificación de los polifenoles está basada en compuestos flavonoides y no flavonoides. En estos últimos, se encuentran los ácidos fenólicos y los estilbenos. Por otra parte, los flavonoides están constituidos por los flavonoles, flavanonoles y flavonas, antocianos, y taninos o proantocianidinas (Flanzy, 2000).

La principal ruta de síntesis de los compuestos fenólicos se origina a partir del aminoácido fenilalanina, el cual mediante la acción de la enzima fenilalanina-amonio- liasa (PAL) es desaminado, dando origen al primer compuesto fenólico, el ácido cinámico (Peña-Neira, 2005). A continuación, la enzima calcona sintetasa (CHS) cataliza el primer paso en la biosíntesis de antocianinas, taninos y demás flavonoides (Goto-Yamamoto *et al.*, 2002; Martens *et al.*, 2010). Luego, la síntesis de antocianos está relacionada con las enzimas UDP glucosa flavonoide glicosiltransferasa (UFGT) y *O*-metiltransferasa (OMT); a su vez los monómeros de proantocianidinas lo están con las enzimas leucoantocianidina reductasa (LAR) y antocianidina reductasa (ANR) (Gagné *et al.*, 2009); y los flavonoles con la enzima flavonol sintasa (FLS) (Martens *et al.*, 2010). Al mismo tiempo existen genes Myb-relacionados, los cuales juegan un rol crítico en la regulación de la biosíntesis de antocianos (Kobayashi, 2009).

Existen múltiples factores que inciden en la expresión de las enzimas catalizadoras implicadas en la ruta de síntesis de compuestos fenólicos, como así también sobre los genes que regulan la expresión sobre dichas enzimas, tales como, la variedad (Jin *et al.*, 2009), el vigor (Peña-Neira *et al.*, 2004), el suelo (Yokotsuka *et al.*, 1999) y el ácido abscísico (Gagné *et al.*, 2011; Sandhu *et al.*, 2011). Otros factores ampliamente estudiados por su alta relevancia son la temperatura (Huglin y Schneider, citado por Mira de Orduña 2010), la luz (Gollop *et al.*, 2002), y el agua (Kennedy *et al.*, 2002).

Por otro lado, en el contexto científico de la actualidad mundial, existe un creciente interés y preocupación por las futuras repercusiones del fenómeno denominado como cambio climático. A causa de lo anterior, en 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), han establecido un organismo científico e intergubernamental: el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual tiene como propósito analizar en forma objetiva, abierta y transparente la información científica, técnica y socioeconómica relevante relacionada con el cambio climático. A su vez, el IPCC (2007) define el concepto de cambio climático como: “el cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadístico) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos. Denota todo

cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural, como si es consecuencia de la actividad humana”.

El IPCC explica el cambio climático a través del aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), por causas antropogénicas, y proyecta así los distintos escenarios IEEE (escenarios descritos en el Informe Especial de Escenarios de Emisiones) (IPCC, 2000). Sin embargo, hay quienes establecen que el cambio climático no posee un origen antropogénico, y se lo atribuyen a los cambios en la intensidad de los rayos cósmicos provenientes de la Vía Láctea, los cuales alteran la nubosidad de la Tierra, en la teoría denominada Cosmoclimatología (Svensmark, 2007). En ambas visiones es aceptado que el cambio climático existe.

De esta forma, y de acuerdo a diferentes estudios, el IPCC (2007) afirma que el cambio climático a nivel mundial tendría un efecto sobre la temperatura, con un aumento de hasta 6,4°C; y en el agua, con variaciones de hasta un 40% en escorrentía y 0,8 mm·día⁻¹ en precipitaciones, según proyecciones realizadas para finales del siglo XXI. Asimismo, se infiere un cambio en la cantidad de luz UV, ya que el IPCC (2005) proyecta para el agujero de la Capa de Ozono en la Antártida, un retorno a su tamaño de 1980 para el año 2050. De igual manera las proyecciones sobre el territorio indican aumentos en la temperatura media diaria de hasta 5°C, y una disminución en la precipitación de hasta un 75% (CONAMA, 2006).

A partir de lo anteriormente expuesto, se visualiza que el cambio climático podría afectar factores de alta relevancia organoléptica en uvas y vinos. Es así, como se han reportado para vinos de Alsacia (Duchêne y Schneider, 2005) y Napa (Vierra, 2004) aumentos en el contenido de azúcares en la baya, a causa del cambio climático, lo que conlleva una mayor graduación alcohólica.

Asimismo, los actuales cambios en el clima, podrían traer modificaciones de alta relevancia en la síntesis de compuestos fenólicos. Eso podría generar cambios en la concentración y composición fenólica que modificarían las características químicas, físicas y sensoriales de los vinos. A pesar de esto, en Chile existe limitada información, por lo que se propone el siguiente estudio.

Objetivo

Describir y relacionar el efecto del cambio climático sobre la composición fenólica en bayas de *Vitis vinifera* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se realizó en las dependencias de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

Distintas fuentes de información disponibles, tanto escritas como digitales. Entre estas, se encuentran libros, tesis, memorias de título y revistas científicas, además de datos y antecedentes proporcionados por estaciones meteorológicas y organismos gubernamentales.

Métodos

La metodología que se utilizó desde la recopilación hasta el análisis de la información se muestra en la Figura 1.

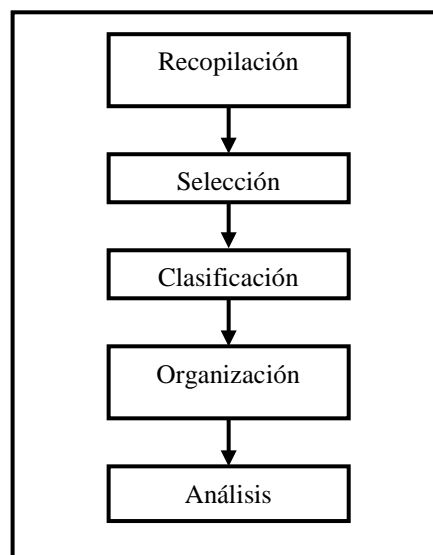


Figura 1. Procedimiento para el análisis de la información

En relación a los criterios de recopilación y selección, se consideraron solo bases de datos reconocidas, disponibles mediante el integrador de bases de datos de la biblioteca de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de Chile. Al mismo tiempo, con el propósito de obtener mayor información de datos vitivinícolas y relacionarlos con antecedentes climáticos se contactó a diferentes fuentes de información, tales como, estaciones meteorológicas, instituciones y organismos gubernamentales, y académicos relacionados con el tema, para así lograr conocer antecedentes, puntos de vista y proyecciones sobre el cambio climático.

Luego de la recopilación y análisis de la información, se procedió a organizar este trabajo de la siguiente manera:

I. Descripción de los compuestos fenólicos en bayas de *Vitis vinifera* L.

- 1) Definición, clasificación, síntesis y evolución de compuestos fenólicos.
- 2) Importancia de los compuestos fenólicos.
- 3) Factores que afectan la composición y síntesis de compuestos fenólicos.

II. Descripción del cambio climático.

- 1) Descripciones del cambio climático.
- 2) Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura, el agua y la luz.

III. Efecto del cambio climático sobre los metabolitos primarios y secundarios.

- 1) Efecto sobre los metabolitos primarios.
- 2) Efecto sobre los metabolitos secundarios: compuestos fenólicos.
- 3) Consecuencias del cambio climático sobre las características sensoriales de color, amargor y astringencia de los vinos chilenos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. Descripción de los compuestos fenólicos en bayas de *Vitis vinifera* L.

1. Definición, clasificación, síntesis y evolución de los compuestos fenólicos

1.1 Definición de los compuestos fenólicos

Desde el punto de vista químico, los compuestos fenólicos se caracterizan por un núcleo bencénico que posee uno o varios grupos hidroxilos. Su clasificación está basada sobre la distinción entre compuestos no flavonoides y flavonoides (Flanzy, 2000).

1.2 Clasificación de los compuestos fenólicos

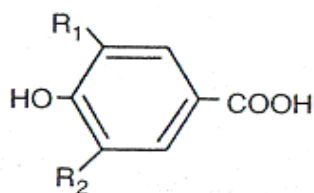
1.2.1 Los compuestos no flavonoides

Esta categoría se divide en ácidos fenólicos y estilbenos.

1.2.1.1 Los ácidos fenólicos

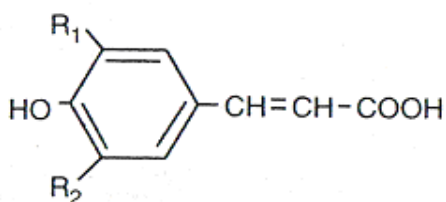
Los ácidos fenólicos están presentes en su forma libre o como derivados glicosilados y ésteres del ácido tartárico, quínico y shiquímico, tanto en vinos tintos como en blancos (Monagas *et al.*, 2005). Se encuentran en los hollejos, en la pulpa, en las semillas y en el escobajo (Garrido y Borges, 2011). Dentro de esta categoría existen dos grupos: los ácidos benzoicos y los ácidos cinámicos.

2 A



Principales ácidos benzoicos	R ₁	R ₂
Ácido Gálico	OH	OH
Ácido <i>p</i> -Hidroxi benzoico	H	H
Ácido Siríngico	OCH ₃	OCH ₃

2 B



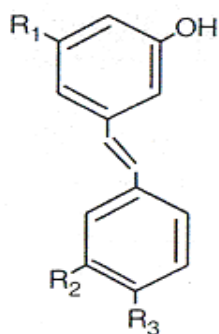
Principales ácidos cinámicos	R ₁	R ₂
Ácido Cafeico	OH	H
Ácido <i>p</i> -cumárico	H	H
Ácido Ferúlico	OCH ₃	H

Figura 2. Estructura química de los ácidos fenólicos. Figura 2A: Principales ácidos benzoicos. Figura 2B: Principales ácidos cinámicos.

1.2.1.2 Los estilbenos

Los estilbenos son otro grupo de compuestos fenólicos no flavonoides, considerados como fitoalexinas, por lo que contribuyen a la defensa contra depredadores y agentes patógenos (Treutter, 2005). Este conjunto de fenoles se producen principalmente en la piel de las bayas de uva, y durante la fermentación alcohólica son traspasados al vino (Bavaresco, 2003).

Los principales estilbenos se muestran a continuación.



Principales estilbenos	R ₁	R ₂	R ₃
Resveratrol	OH	H	OH
Picida	OGlc	H	OH
Astringuina	OGlc	OH	OH
Resveratrolósido	OH	H	OGlc
Picetanol	OH	OH	OH

Figura 3. Estructura química de los estilbenos. Glc: Glucosa

1.2.2 Los flavonoides

Químicamente se caracterizan por un esqueleto de base de 15 átomos de carbono (C6-C3-C6) (Flanzy, 2000). Además, se aprecian 4 categorías o familias: Los flavonoles, los flavanonoles y flavonas, los antocianos, y los flavanoles o proantocianidinas.

1.2.2.1 Los flavonoles

Los flavonoles corresponden a pigmentos amarillos que contribuyen directamente con el color de vinos blancos. La Figura 4 muestra las formas agliconadas de los principales flavonoles: kaempferol, quercetol, miricetol e isoramnetol; los cuales se ubican únicamente en los hollejos (Cheynier y Rigaud, citado por Zamora 2003). En vinos tintos, los flavonoles son enmascarados por las antocianinas (pigmentos rojos) (Castillo-Muñoz *et al.*, 2009); y en el caso de los vinos blancos solo se han detectado quercetol, kaempferol e isoramnetol (Garrido y Borges, 2011). Los flavonoles en bayas solo se encontrarían glucosilados, mientras que en vino se hallarían formas agliconadas y glucosiladas, como resultado de la hidrólisis ácida que se produce durante la vinificación y el envejecimiento (Castillo-Muñoz *et al.*, 2009). Los contenidos en flavonoles varían de 10 a 100 mg·kg⁻¹ de bayas (Flanzy, 2000).

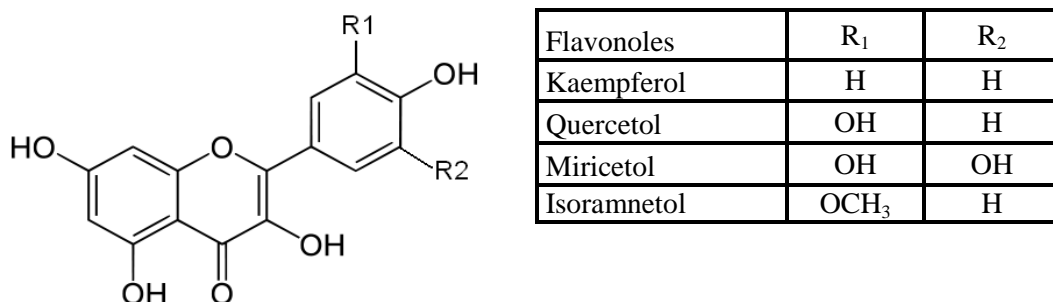
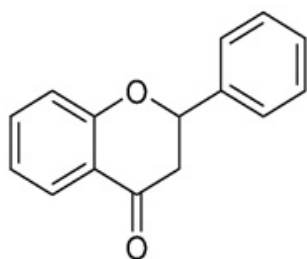


Figura 4. Estructura química de los flavonoles.

1.2.2.2 Los flavanoles y flavonas

Básicamente los flavanoles difieren con los flavonoles en su estructura química, ya que no poseen el doble enlace del heterociclo (Zamora, 2003). Los principales flavanoles son la engeletina (3-ramnósido del hidrokaempferol), astilbina (3-ramnósido del dihidroquercetol) y la naringenina (Flanzy, 2000; Jagetia y Reddy, 2011) (Figura 5). La ubicación de flavanoles y flavonas ha sido descrita en el hollejo de la uva blanca (Flanzy, 2000), como así también en raspones y en hojas, en el caso de las flavonas. Sus concentraciones son del orden de $9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de materia fresca para la astilbina y $0,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para la engelatina, que representa el 5% de los compuestos fenólicos totales del hollejo de la uva (Flanzy, 2000).

5 A



5 B

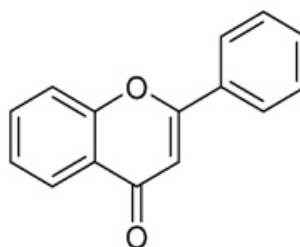


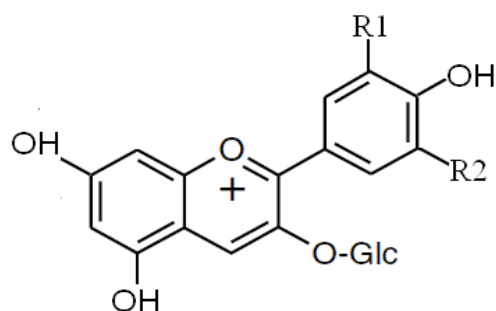
Figura 5. Estructura química de flavanoles y flavonas. Figura 5A: Estructura química general de flavanoles. Figura 5B: Estructura química general de flavonas (Martens y Mithöfer, 2005; Boots *et al.*, 2008; Martens *et al.*, 2010).

1.2.2.3 Los antocianos

Los antocianos son responsables del color de la uva y del vino, una característica que está determinada por su estructura química, es decir, por su grado de hidroxilación, metilación y/o glucosilación (He *et al.*, 2010). Desde un punto de vista general los pigmentos antociánicos: antocianidinas (forma agliconada) y antocianinas (forma glucosilada), tienen una estructura basada en el catión flavilium (2-fenil-benzopirilio) (Garrido y Borges, 2011) (Figura 6). Es importante enfatizar que la forma agliconada (antocianidinas), casi no se encuentra en plantas, y su glucosilación principalmente en C3, trae consigo una reducción de absorción de longitud de onda máxima, pero confiere una mayor estabilidad y aumento de la solubilidad (Stintzing y Carle, 2004).

Según Harborne y Williams (2001), existen 18 formas de antocianidinas. De estas, han sido identificadas 5 formas en bayas y vinos tintos: cianidina (rojo anaranjado), peonidina (rojo), delphinidina, petunidina y malvidina; estas tres últimas presentan un color rojo azulado (He *et al.*, 2010; Koponen *et al.*, 2007). Los antocianos se diferencian por sus niveles de hidroxilación y de metilación (Stintzing y Carle, 2004). Asimismo, difieren por la naturaleza, el número y la posición de los mono o disacáridos unidos a la molécula; glucosa, galactosa, ramnosa, arabinosa, rutinosa, soforosa, sambubiosa y xilosa han sido descritas como las fracciones de azúcares más comunes que acompañan a las antocianidinas (Garrido y Borges, 2011). Sin embargo, según da Costa *et al.* (2000) y Lee (1992) (citados por Košir *et al.* 2004) para el caso de uvas y vinos, los azúcares más frecuentes que glucosilan a las antocianidinas son: glucosa, ramnosa, galactosa, xilosa y arabinosa. También difieren por el ácido que esterifica en posición 6 al mono o disacárido. Estos pueden ser el ácido acético, *p*-cumárico o cafeico (Cheyner, 2000). Éste último, solo presente en peonidina (Zamora, 2003) y malvidina (Dimitric *et al.*, 2003; Schwarz *et al.*, 2003; Gris *et al.*, 2007).

Los antocianos están localizados principalmente en el hollejo (Garrido y Borges, 2011), y en las vacuolas de las 3 o 4 primeras capas celulares del hipodermo (Flanzy, 2000). Además, algunos cultivares tintos acumulan pigmentos en el mesocarpio de la baya, otorgándole color a la pulpa, estas cepas son llamadas tintoreras (Flanzy, 2000; Ageorges, 2006). El contenido de antocianos varía según la cepa: desde 500 mg·kg⁻¹ hasta 3000 mg·kg⁻¹ (Flanzy, 2000; Hidalgo, 2003), destacando la malvidina-3-glucósido, como la antocianina más abundante en *Vitis vinifera* L. (Flanzy, 2000).



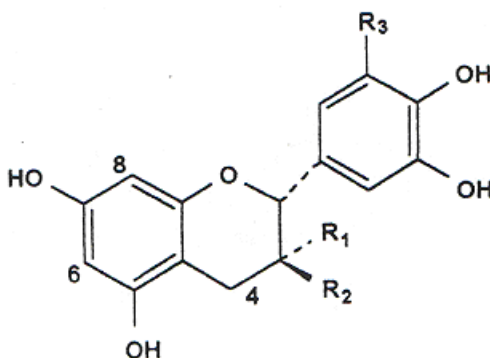
Principales antocianos	R ₁	R ₂
Cianidina	OH	H
Peonidina	OCH ₃	H
Delfinidina	OH	OH
Petunidina	OCH ₃	H
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃

Figura 6. Estructura química de los antocianos.

1.2.2.4 Los flavanoles (taninos condensados o proantocianidinas)

Los flavanoles representan una compleja familia compuesta por las diferentes formas isoméricas de catequina y sus polímeros (Cheynier *et al.*, 2000; Dixon *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2005). Además, los flavanoles pueden o no estar esterificados por el ácido gálico (De-Yu Xie, 2005).

En teoría existen 16 monómeros de flavanol. En la baya de vid los mayoritarios son la (+)-catequina, la (-)-epicatequina y el epicatequina 3-O-galato (Cheynier *et al.*, 2000). No obstante, la gran mayoría de los flavanoles se presentan en forma de polímeros. En el caso de que el polímero esté formado por unidades de galocatequina y/o epigalocatequina se obtendría por hidrólisis ácida del finidina y por tanto se denomina como prodelfinidina. Si por el contrario, el polímero se constituye por unidades de catequina y/o epicatequina, se define como procianidina (Porter *et al.*, 1986; Hagerman, 2002). Ambos grupos (procianidinas y prodelfinidinas) son denominados como proantocianidinas o taninos condensados. La Figura 7 muestra las estructuras de los cuatro flavanoles monómeros de la uva: (+)-catequina, galocatequina, (-)-epicatequina y epigalocatequina.



Monómeros	R ₁	R ₂	R ₃
Catequina	H	OH	H
Galocatequina	H	OH	OH
Epicatequina	OH	H	H
Epigalocatequina	OH	H	OH

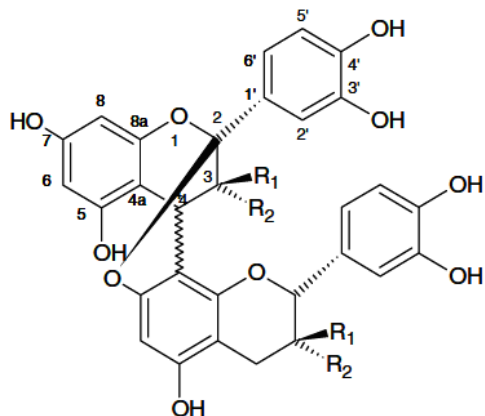
Figura 7. Estructuras de los flavanoles monómeros de la uva.

Las proantocianidinas se localizan en semillas de la baya (Bakkalbası *et al.*, 2005), tallos (Souquet *et al.*, 2000; Monagas *et al.*, 2003) y en vacuolas de ciertas células del hollejo (Flanzy, 2000; Harbertson *et al.*, 2002). Según Park *et al.* (1995, citado por Flanzy 2000) estas células con vacuola tánica son particularmente numerosas en las capas externas del hipodermo, y se presentan de forma excepcional cerca de la pulpa. Las proantocianidinas que se encuentran en el hollejo de la baya son procianidinas y prodelfinidinas, mientras que en semillas solo se encuentran procianidinas.

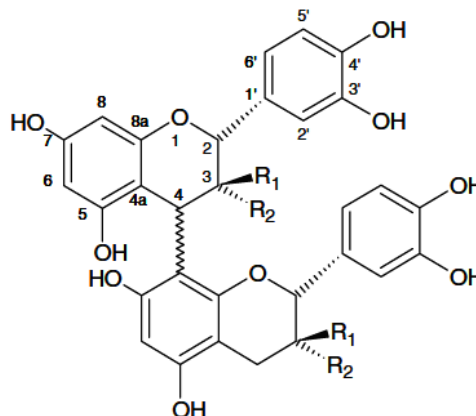
Al mismo tiempo existen dos tipos de proantocianidinas (tipo A y B), ambas están unidas mediante enlaces carbono-carbono entre el C8 de la unidad terminal (último

monómero de la cadena) y el C4 de la unidad de extensión (penúltimo monómero de la cadena) (Hagerman, 2002) (Figura 8). La presencia de los polímeros tipo B es la única que ha sido comprobada en el género *Vitis*. En el caso de los polímeros del tipo A, poseen una unión suplementaria del tipo éter entre el carbono 2 y el carbono 7 (Gu *et al.*, 2003).

8 A



8 B



Compuesto	R ₁	R ₂
(-)-Epicatequina	OH	H
(+)-Catequina	H	OH
(-)-Epicatequina-O-Galato	Ácido Gálico	H

Figura 8. Estructuras de dímeros de proantocianidinas. Figura 8A: Estructura de dímeros de proantocianidinas tipo A. Figura 8B: Estructura de dímeros de proantocianidinas tipo B.

Además, proantocianidinas del tipo B, pueden presentar un número muy elevado de unidades, el cual varía según el lugar de ubicación dentro de la baya. Las semillas contienen mayores concentraciones de monómeros, oligómeros y polímeros de proantocianidinas que las pieles (Sun *et al.*, 1999). Sin embargo, las proantocianidinas de piel tienen un mayor grado medio de polimerización (mDP) (Labarbe *et al.*, 1999; Kennedy y Jones, 2001), y se transfieren con mayor facilidad al vino (Sun *et al.*, 1999). De esta forma, se ha observado que el mDP para proantocianidinas de semillas corresponde a 5,1 para Cabernet Sauvignon y 7,8 para Syrah. Por otra parte, se ha señalado que el mDP de las proantocianidinas de pieles, es de 43,9 para Cabernet Sauvignon y de 45,1 para Syrah (Cosme *et al.*, 2009). Además, según Sarni-Manchado y Cheyneir (1999, citado por Zamora 2003) se ha demostrado que el mDP en el vino es cercano a 7. Asimismo, estos oligómeros pueden ser ácidos por el ácido gálico (Vidal *et al.*, 2003), lo cual podría afectar alguna característica sensorial, como la astringencia (Robichaud y Noble, citado por Hufnagel y Hofmann 2008). Diversos autores han demostrado que la proporción de unidades galoiladas es mayor en semillas (13-29%) que en pieles (3-6%) (Riou, 2002; Peyrot des Gachons y Kennedy, 2003). También se han reportado diferencias en la proporción de unidades galoiladas entre cepas, así Obreque-Slier *et al.* (2010a) observaron en semillas de Carménère y Cabernet Sauvignon un 27,5% y 16,3% de unidades galoiladas, respectivamente.

1.3 Síntesis y evolución de los compuestos fenólicos

1.3.1 Síntesis de los compuestos fenólicos

La principal ruta de síntesis de los compuestos fenólicos se origina a partir del aminoácido fenilalanina (ruta de los fenilpropanoides) (Figura 9), el cual mediante la acción de la enzima fenilalanina-amonioliasa (PAL) es desaminado, dando origen al primer compuesto fenólico, el ácido cinámico (Peña-Neira, 2005). A partir del ácido cinámico y mediante sucesivas y diferentes reacciones enzimáticas, como hidroxilación, conjugación e hidrólisis, se obtienen los diferentes tipos de compuestos fenólicos (Garrido y Borges, 2011). La enzima chalcona sintetasa (CHS) cataliza el primer paso en la biosíntesis de antocianinas, proantocianidinas y demás flavonoides (Goto-Yamamoto *et al.*, 2002; Martens *et al.*, 2010).

Específicamente, la PAL se localiza solo en células del hollejo y algunos tejidos de semillas, lo que explica la acumulación de polifenoles en estas partes del grano de uva (Hidalgo, 2003). Además, tanto la PAL como la CHS, son inducidas por diversos factores bióticos (infecciones por virus, bacterias y hongos, etc.) y abióticos (altas y bajas temperaturas, luz UV-B, heridas, etc.) (Sgarbi *et al.*, 2003; Solecka y Kacperska, 2003).

En cuanto a la evolución de la PAL, su acción en el hollejo comienza bruscamente durante envero, elevando paulatinamente los contenidos de proantocianidinas y antocianos de hollejos. Contrariamente, su concentración en el periodo herbáceo es máxima en semillas, y decrece durante la maduración de la baya (Chen *et al.*, 2006), lo que repercute en la cantidad de proantocianidinas de semillas durante la maduración (Hidalgo, 2003).

Según Bogs *et al.* (2006), la expresión de los genes que codifican las enzimas flavonoide 3'-hidroxilasa (F3'H) y flavonoide-3'5'-hidroxilasa (F3'5'H), es baja al comienzo de la maduración de la baya. Sin embargo, después de envero esta expresión se incrementa. Ambas enzimas catalizan la hidroxilación del anillo B de los flavonoides (Bogs *et al.*, 2006). Del mismo modo, se aprecia que los flavonoles, incoloros o amarillentos, pueden ser formados a partir de dihidroflavonoles mediante la acción de la enzima flavonol sintasa (FLS) (Martens *et al.*, 2010). Al mismo tiempo, la acción de la enzima dihidroflavonol-4-reductasa (DFR) sobre los dihidroflavonoles, conduce a la formación de las diferentes formas de leucoantocianidinas (Bogs *et al.*, 2006).

Según Gagné *et al.* (2009), la síntesis de proantocianidinas dependería de las enzimas leucoantocianidina reductasa (LAR) y antocianidina reductasa (ANR), las cuales se activan temprano en la temporada, siendo sintetizadas durante floración y desarrollo de bayas. Además, la elevada expresión se manifestaría hasta envero, para luego decaer contundentemente.

A su vez la expresión de los antocianos está ligada al gen que codifica a la enzima UFGT (VvUFGT) y a la enzima OMT. El gen VvUFGT es controlado mediante genes del tipo MybA (VlmybA1-1 y VvmybA1), los cuales no se expresan en variedades blancas y por tanto impiden la expresión de VvUFGT (Kobayashi *et al.*, 2002; Bogs *et al.*, 2006; Kobayashi, 2009).

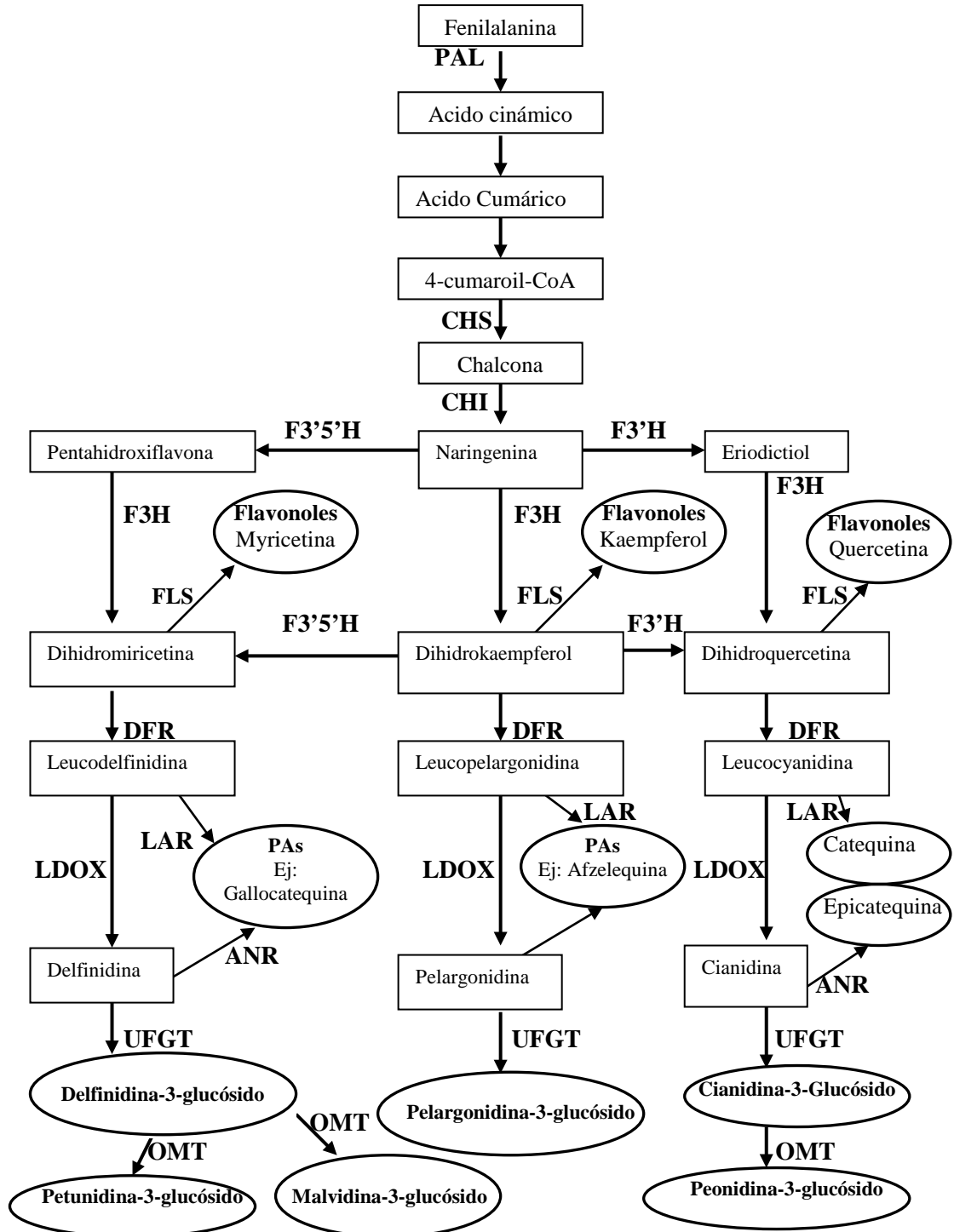


Figura 9. Representación esquemática de la ruta de síntesis de compuestos fenólicos. Las enzimas involucradas son: PAL, fenilalanina-amonioliasa; CHS, calcona sintetasa; CHI, calcona isomerasa; F3'H, flavanona-3-hidroxilasa; F3'H, flavonoide 3'-hidroxilasa; F3'5'H, flavonoide-3'5'-hidroxilasa; DFR, dihidroflavonol-4-reductasa; FLS, flavonol sintasa; LDOX, leucoantocianidina dioxigenasa; LAR, leucoantocianidina reductasa; ANR, antocianidina reductasa; UFGT, UDP glucosa flavonoide glicosiltransferasa; y OMT, *O*-metiltransferasa. (Peña-Neira, 2005; Bogs *et al.*, 2006; Azuma *et al.*, 2009; Gagné *et al.*, 2009; Treutter, 2010).

1.3.2 Evolución de los compuestos fenólicos

Como muestra la Figura 10, la concentración de los antocianos alcanza su valor máximo cuando la relación azúcar/acidez en la baya es máxima, para más tarde decrecer paulatinamente (Hidalgo, 2003).

A su vez la concentración de las proantocianidinas del hollejo, también se incrementan durante ese periodo, aunque su acumulación es más lenta y su máximo se alcanza algunos días después que los antocianos. Para el caso de las proantocianidinas contenidas en semillas, se observa un progresivo descenso desde el envero hasta la maduración (Hidalgo, 2003), lo cual es respaldado por Kennedy *et al.* (2000a). Estos autores observaron que los monómeros de proantocianidinas de semillas de Cabernet Sauvignon, disminuyen hasta un 90% entre el envero y cosecha, mientras que los polímeros de proantocianidinas decrecen hasta un 60%, para el mismo periodo. En relación a los monómeros de catequina, epicatequina y epicatequina-3-*O*-Galato en semillas de Syrah, se ha observado que estos incrementan en hasta 5 veces su concentración durante las tres semanas anteriores a envero. A pesar que la (+)-catequina y (-)-epicatequina tienen comportamientos de evolución de concentración similares, (-)-epicatequina alcanza su máxima concentración una semana después de envero, a diferencia de (+)-catequina que lo haría en envero (Kennedy *et al.*, 2000b). Asimismo, Kennedy *et al.* (2000b) observaron que la máxima concentración para los polímeros de proantocianidinas de semillas de Syrah ocurriría 3 semanas antes de pinta.

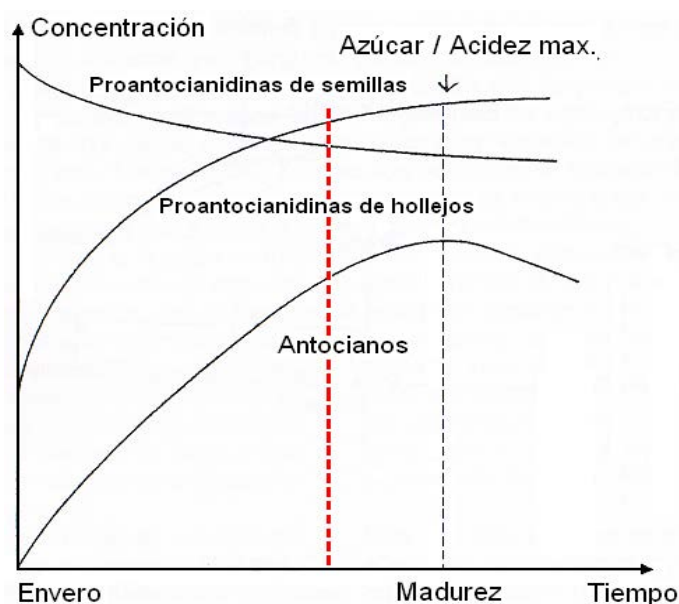


Figura 10. Evolución de los compuestos fenólicos (Fuente: Hidalgo, 2003).

2. Importancia de los compuestos fenólicos

2.1 Importancia organoléptica

Los compuestos fenólicos son responsables de la génesis del color y astringencia en bayas y por ende del vino, lo que repercute en la degustación o cata de este alimento. Los compuestos fenólicos que otorgan color al vino tinto son principalmente los antocianos (Monagas *et al.*, 2005). Sin embargo, Glories (1984, citado por Zamora 2003) señala que los flavonoles aportan tonalidades amarillas a los vinos blancos. Simultáneamente, Ribereau-Gayon *et al.* (1999, citado por Zamora 2003) mencionan que existe una porción de la componente amarilla dada por proantocianidinas.

Por otra parte, las proantocianidinas se han asociado fuertemente a las características sensoriales de astringencia y amargor del vino tinto (Peleg *et al.*, 1999; Brossaud *et al.*, 2001; Mateus *et al.*, 2004; Obrequ-Slier *et al.*, 2010b). De esta forma, tendrían la capacidad de interactuar con las proteínas salivales mediante puentes de hidrógeno, interacciones de tipo hidrofóbica o por atracción electroestática (Butler *et al.*, 1984; Kallithraka *et al.*, 2011). Esto daría lugar a complejos supramacromoleculares, los cuales precipitarán generando una sensación de sequedad en la boca denominada astringencia (Horne *et al.*, 2002). Sin embargo, Obrequ-Slier *et al.* (2010b) respaldan la hipótesis de que la astringencia se correlaciona de mejor manera con la interacción tanino-proteína, que con la precipitación tanino-proteína. Además, se ha asociado un aumento de la astringencia de las proantocianidinas con el aumento del grado de galoilación de estas (Vidal *et al.*, 2003).

En el caso del amargor, se ha observado que los compuestos fenólicos participantes son los monómeros de (+)-catequina y (-)-epicatequina; y a medida que el mDP de estos aumenta, a dímeros y trímeros, la intensidad de amargor descendería mientras la astringencia aumentaría (Peleg *et al.*, 1999).

2.2 Importancia farmacológica

La respiración celular sintetiza moléculas de gran inestabilidad llamadas radicales libres o EROs (especies reactivas del oxígeno), los que provocan daño a estructuras biológicas, tales como, proteínas, lípidos o ADN (Dröge, 2002; Fang *et al.*, 2002; Fernández-Pachón *et al.*, 2004). Estos EROs son el superóxido (O_2^-), agua oxigenada (H_2O_2), hidroxilo (OH^-) e hipernitrito ($ONOO^-$) (Ciudad, 2000; Stintzing y Carle, 2004). El metabolismo humano cuenta con un sistema de defensa antioxidante en el que intervienen proteínas y enzimas, para así prevenir los efectos de la oxidación. Sin embargo, cuando el nivel de radicales libres de oxígeno exceden la capacidad reductora, se reproduce un estrés oxidativo, el que conduce a un deterioro de estructuras biológicas (Fernández-Pachón *et al.*, 2004; Stintzing y Carle, 2004). Es aquí donde los fenoles del vino toman importancia farmacológica: neutralizan el estrés oxidativo, ya que son poderosos antioxidantes reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer. Así los compuestos que poseen una actividad antioxidante son: la quercetina (Boots *et al.*, 2008; Crespo *et al.*, 2008), kaempferol (Lee *et al.*, 2010; Crespo *et al.*,

2008) y los antocianos (Stintzing y Carle, 2004). Por otra parte, los compuestos fenólicos que poseen una actividad antiinflamatoria son: la quercetina (Crespo *et al.*, 2008), Kaempferol (Crespo *et al.*, 2008), y proantocianidinas (Terra *et al.*, 2007). De la misma manera, los compuestos que poseen actividad antihipertensivas son: la quercetina (Pérez-Vizcaino *et al.*, 2009), y kaempferol (Olszanecki *et al.*, 2008). Finalmente, los compuestos asociados con efectos anticancerígenos son la quercetina (Boots *et al.*, 2008), kaempferol (Kang *et al.*, 2010), y el ácido gálico (Veluri *et al.*, 2006).

2.3 Otras propiedades de los compuestos fenólicos

Diversas propiedades han sido asociadas a los compuestos fenólicos. De acuerdo a Treutter (2010), los compuestos fenólicos contribuyen significativamente a la resistencia de las plantas contra diferentes plagas, patógenos y estrés de tipo ambiental. Más específicamente las proantocianidinas, cumplirían una función defensiva ante herbívoros o patógenos (Xie y Dixon, 2005; Parr y Bolwell, citado por Cohen *et al.*, 2008). Del mismo modo, se han considerado tóxicos para el herbívoro que los consume, lo cual lo hace un eficiente método de supervivencia para el vegetal. Por otra parte, los antocianos estarían asociados con el color de las flores, que permitirían atraer polinizadores (Stintzing y Carle, 2004). Además, los antocianos enmascararían a la clorofila contenida en orgánulos por lo que podrían proteger a los cloroplastos contra la fotoinhibición causada por altas temperaturas (Pietrini *et al.*, 2002). Asimismo, las diferentes composiciones de antocianinas, tanto en la baya como en vino, pueden ser utilizadas como marcadores químicos para la diferenciación de variedades de vid (Nyman y Kumpulainen, 2001; García-Beneytez *et al.*, 2002).

3. Factores que afectan la composición y síntesis de los compuestos fenólicos

La composición y síntesis de los compuestos fenólicos está regulada por diversos parámetros, tales como, factores genéticos, fisiológicos, químicos y ambientales como la temperatura, luz y agua (Sandhu *et al.*, 2011). Algunos de los factores más estudiados, se detallan a continuación.

3.1 Variedad: Diversos autores mencionan que la variedad de vid posee un efecto directo sobre la composición y síntesis de compuestos fenólicos. Estas diferencias se originan a causa de que en las variedades tintas, comparadas con las variedades blancas, existe una mayor expresión de los genes VvF3H, VvF35H1, VvCytoB5 y VvUFGT, los cuales codifican las enzimas catalizadoras para la síntesis de antocianos, proantocianidinas y flavonoles, lo que explicaría la mayor concentración de estos compuestos en estas cepas (Bogs *et al.*, 2006). De la misma manera, Jin *et al.* (2009) mencionan que existe una gran variabilidad entre cultivares y la composición-contenido de compuestos fenólicos de la piel de la baya. Así por ejemplo, Obreque-Slier *et al.* (2010a) compararon pieles de Cabernet Sauvignon y Carménère, reportando para esta última cepa mayores contenidos de antocianos, flavonoides totales, intensidad colorante, mDP, y porcentaje de galolación. Asimismo, según Harbertson *et al.* (2002), la variedad influye en el número de semillas por baya, lo que a su vez determina la concentración de proantocianidinas totales.

3.2 Manejo agronómico y vigor: Se ha observado que el vigor altera la concentración de todos los compuestos fenólicos en pieles y semillas de la baya de uva durante el periodo de maduración (Peña-Neira, 2004). En el caso de vides con vigor controlado se obtienen aumentos significativos en proantocianidinas de piel (Cortell *et al.*, 2005) y antocianos (Pérez-Magariño y González San-José, 2004), en comparación con vides de vigor alto. Estas concentraciones diferenciales, se deberían a que en vides con vigor controlado se obtienen pocos y pequeños racimos por planta, los cuales poseen una mayor relación superficie de hollejo por unidad de volumen (Hidalgo, 2003), alcanzando mayores cantidades y concentraciones de compuestos fenólicos.

No obstante lo anterior, Peña-Neira (2005) señala que un raleo en enero para rendimientos medios y bajos no necesariamente va acompañado de aumentos en la concentración de antocianos totales de las pieles, y por consiguiente del color de los vinos.

3.3 Ácido Abscísico (ABA): Durante la maduración se ha podido observar que la concentración de ABA aumenta. Asimismo, se ha podido establecer que esta fitohormona promueve la síntesis de antocianinas (Gagné *et al.*, 2011; Sandhu *et al.*, 2011) ya que afectaría el gen VvmybA1, el cual está asociado a la expresión de enzimas que realizan la síntesis de antocianinas (Yamane *et al.*, 2006).

Por otro lado, se ha observado que aplicaciones de ABA afectan a las enzimas LAR y ANR, reduciendo su actividad, lo que se ve reflejado en una disminución en el contenido de proantocianidinas sin modificar su composición (Lacampagne *et al.*, 2010).

3.4 Suelo: Se ha demostrado que la estructura del suelo afecta a los compuestos fenólicos y principalmente a los antocianos (Yokotsuka *et al.*, 1999). Conjuntamente, se ha asociado una baja fertilidad del suelo con un incremento en el contenido de proantocianidinas (Dixon *et al.*, 2005).

3.5 Temperatura: Según Huglin y Schneider (1998, citado por Mira de Orduña 2010) la temperatura juega un rol trascendental en la síntesis de compuestos fenólicos. Según Mori *et al.* (2005), las altas temperaturas durante la noche (30°C) en las primeras etapas de maduración de la baya, inhiben el gen de expresión de CHS, F3H, DFR, LDOX, y UFGT. Asimismo, observaron una baja en la actividad de las enzimas PAL y UFGT en la piel de las bayas.

Para el caso de los antocianos, la mayor parte de las enzimas que regulan la ruta de biosíntesis de compuestos fenólicos tienen niveles óptimos de acción entre 15 y 27°C (Peña-Neira, 2005). Por otra parte, Spayd *et al.* (2002) y Tarara *et al.* (2008) (citados por Mira de Orduña 2010) señalan que temperaturas sobre 30°C conducirían a una reducción en la síntesis de antocianinas. Asimismo, Yamane *et al.* (2006), observaron que a temperaturas de 30°C existen diferencias significativamente menores de concentraciones de antocianinas, en comparación con temperaturas de 20°C. Igualmente, Bergqvist *et al.* (2001), han correlacionado altas temperaturas con bajas en los niveles de antocianos. Por su parte, He *et al.* (2010) afirman que temperaturas de 25°C serían favorables para la síntesis de antocianinas, y a partir de 35°C existiría una degradación de estas (Mori *et al.*, 2007; He *et al.* 2010), donde principalmente las antocianinas metiladas serían más estables. Del mismo modo, según Mori *et al.* (2005), altas temperaturas durante la noche (30°C) en las primeras etapas de maduración de la baya, ocasionarían una gran reducción de la actividad de la enzima UFGT, obteniéndose una pobre producción de antocianinas. En el caso contrario, bajas temperaturas durante el día y noche (14 y 9°C, respectivamente), tampoco son propicias para la acumulación de grandes cantidades de antocianinas. A su vez, Yamane *et al.* (2006), observaron que bajas y altas temperaturas durante la maduración (principalmente durante la III etapa fenológica) afectan la producción y/o degradación de ABA en las pieles de la baya, lo que a su vez repercute en la expresión de *VvmybA1*, y por consiguiente traería una menor síntesis de antocianinas. De esta forma, el factor temperatura afectaría la biosíntesis, estabilidad y concentración de antocianos (Mori *et al.*, 2007; Koshita *et al.*, 2007).

En el caso de las proantocianidinas, se ha observado que existe un efecto positivo entre temperatura y número de semillas, o niveles totales de proantocianidinas por baya en cosecha (Pastor del Rio y Kennedy, 2006). Sin embargo, al igual que los antocianos, temperaturas por bajo o sobre las óptimas, afectan negativamente la síntesis de proantocianidinas. De hecho, según Poudel *et al.* (2009) mencionan que existen mayores contenidos de monómeros de proantocianidinas, flavonoles, antocianos y fenoles totales a 25°C que a temperaturas de 20°C o 30°C.

3.6 Luz: La luz solar controla un amplio rango de aspectos de la planta, tales como, el crecimiento, desarrollo y expresión de genes (Gollop *et al.*, 2002). Khurana *et al.* (1998, citado por Gollop *et al.* 2002) señalan que existen tres diferentes sistemas de fotorreceptores que median el efecto lumínico: los fitocromos, los fotorreceptores de azul/UV-A y los fotorreceptores UV-B. Según Peña-Neira (2005), la luz afectaría al

fitocromo, el cual corresponde a una cromoproteína que recibe estímulos lumínicos y que regularía en forma importante la ruta de síntesis de antocianos y proantocianidinas (en especial por su acción sobre DFR que dará origen a proantocianidinas), así como al ABA (fitohormona reguladora de expresión del color). En relación a la irradiación UV, Park *et al.* (2007), observaron que en hojas de lechuga este tipo de emisión solar de baja longitud de onda, estimula la expresión de los genes involucrados en la síntesis de antocianos, aumentando la acumulación de estos. De la misma manera, Gollop *et al.* (2002), sugieren que los promotores del gen DFR, podrían ser inducidos mediante los receptores del tipo azul/UV-A. Además, los fotorreceptores azul/UV-A y UV-B también inducirían la expresión del gen CHS.

Para el caso de la PAL (principal enzima en la ruta de síntesis de compuestos fenólicos) y la CHS, sus actividades se han descrito como lumínico dependientes (Alokam *et al.*, 2002). En el caso de los antocianos, todas las enzimas partícipes son sensibles a la luz y temperatura, por lo que el grado de exposición y microclima del racimo serán determinantes en su actividad (Peña-Neira, 2005). Sin embargo, He *et al.* (2010) reportan que una intensa iluminación solar ocasionaría una reducción en la acumulación de antocianos, lo que unido a altas temperaturas podría inhibir el desarrollo de color. Igualmente, Bergqvist *et al.* (2001) señalan que la concentración de los antocianos de la piel se incrementan junto con el aumento de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), para más tarde disminuir su concentración cuando esta alcanza valores de 51-100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; además agregan que la concentración de fenoles totales seguiría un patrón de comportamiento similar.

Contrariamente, una luminosidad limitada afectaría negativamente la síntesis y acumulación de antocianinas y otros polifenoles. Esta tendencia estaría respaldada por la reducción en la acumulación de RNAm de *VvmybA1* y expresión de los genes estructurales de CHS y F3H en condiciones de baja luminosidad, lo cual repercutiría en la síntesis de antocianinas y otros polifenoles, tales como, proantocianidinas y flavonoles (He *et al.*, 2010).

Por otra parte, Downey *et al.* (2004) señalan que la disminución de la exposición solar, traería como consecuencia una baja en la concentración de proantocianidinas y antocianos, pero además, acarrearía una significativa declinación en la síntesis de flavonoles, debido a la inhibición de la expresión de la enzima flavonol sintasa (FLS).

3.7 Disponibilidad hídrica: Diversos estudios han demostrado que el suministro de agua en plantas de vides afectaría la síntesis de diferentes metabolitos primarios y secundarios, tales como, los compuestos fenólicos en la baya (Kennedy *et al.*, 2002). Es así, como se ha observado que un exceso de suministro hídrico provocaría un retraso de la maduración. Asimismo, este comportamiento generaría una menor síntesis de azúcares, una mayor acidez y menor cantidad de polifenoles en las bayas (Hidalgo, 2003).

Algunos estudios han demostrado que la concentración de flavonoides sería altamente dependiente del riego durante la temporada (Castellarin *et al.*, 2007a; Castellarin *et al.*, 2007b). Para el caso de antocianos, un déficit hídrico estimularía su biosíntesis, lo que aumentaría la intensidad colorante del vino (Páez, 2002; He *et al.* 2010). Esta observación es concordante con lo encontrado por Castellarin *et al.* (2007a) donde el contenido de antocianos totales en cosecha se incrementaría con un déficit hídrico de un 37-57%. Además, la disminución del aporte hídrico reduciría significativamente el

diámetro de las bayas (Ferreira *et al.*, 2003), obteniéndose así una mayor relación piel-pulpa, lo que traería consigo una mayor cantidad de antocianos y fenoles totales por baya (Ortega-Farías *et al.*, 2004). Por su parte, Roby *et al.* (2004) mencionan que un déficit de agua acarrearía un aumento en el contenido de proantocianidinas de piel, pero no así en proantocianidinas de semillas.

Lo anteriormente expuesto, se explicaría por el efecto del agua de riego sobre los genes estructurales de la ruta de síntesis de compuestos fenólicos. Según Castellarin *et al.* (2007a) y He *et al.* (2010), los genes biosintéticos estructurales de CHS, F3H, F3'5'H, UFGT, y OMT podrían ser estimulados en bayas provenientes de plantas bajo condiciones de estrés hídrico. Además, Castellarin *et al.* (2007a) señalan que un déficit de agua estimularía la hidroxilación y metilación del anillo B de flavonoides. Esto, induciría a un enriquecimiento de peonidina y malvidina, que se correlacionaría positivamente con la abundante transcripción de F3'5'H y OMT. Esta observación, podría ser explicada porque en condiciones de restricción hídrica se promueve la conversión de antocianos hidroxilados (delfinidina y cianidina) a sus derivados metoxilados (peonidina, petunidina y malvidina). Sin embargo, la metoxilación de delfinidina solo en posición C3 del anillo B rara vez ocurre, por lo que petunidina no se incrementaría en bayas con déficit hídrico. Conjuntamente, Dixon y Pavia (1995, citados por Romero *et al.* 2008), señalan que bajo condiciones de estrés, la activación de la PAL puede ser considerada como parte de un mecanismo de defensa, que opera en las células afectadas por el estrés, dejando en evidencia que condiciones de déficit hídrico afectan a toda la ruta de síntesis de los compuestos fenólicos.

II. Descripción del cambio climático

1. Descripciones del cambio climático

Según Casas y Alarcón (1999), la atmósfera corresponde a la capa gaseosa que, por efecto de la fuerza de gravedad, envuelve la superficie de la Tierra. La densidad máxima de la atmósfera se da sobre la superficie y decrece gradualmente con la altura hasta que se hace indistinguible del gas interplanetario. La composición química y estructura física y dinámica varían con la altura en función de la atracción gravitatoria, los procesos biogeoquímicos que tienen lugar en la superficie terrestre y la incidencia de la luz solar.

Por su parte, el clima corresponde a una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el periodo promedio habitual para definir el clima de una localidad es de 30 años (FIA, 2010).

Las descripciones sobre el cambio climático son variadas. La Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) (ONU, 1992) en su artículo 1, se refiere al cambio climático como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

Por su parte, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) describe el cambio climático como: “el cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana”. El IPCC corresponde a un organismo científico e intergubernamental, establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988, con el propósito de analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. Mediante evaluaciones periódicas, el IPCC elabora informes especiales y documentos técnicos para dar a conocer la información analizada, como así también nuevas conclusiones a partir de dicha información.

En cuanto al origen del cambio climático, el IPCC menciona que se debería al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CO₂.

No obstante lo anterior, hay quienes establecen que el cambio climático no posee un origen antropogénico, y más bien lo atribuyen a los cambios en la intensidad de los

rayos cósmicos provenientes de la Vía Láctea, los cuales alterarían la nubosidad de la Tierra. Esta teoría es desarrollada en la Cosmoclimatología (Svensmark, 2007), la cual explicaría los cambios en el clima por las variaciones del campo magnético del Sol, así como por el traslado del sistema solar en la galaxia.

Finalmente, y de acuerdo a las definiciones, conceptos y distintas visiones planteadas sobre el cambio climático, se observa que este fenómeno sería provocado por procesos naturales, como son las erupciones volcánicas, las variaciones de la actividad solar y rayos cósmicos; o también a forzamientos externos, como las intervenciones antropogénicas persistentes en la composición de la atmósfera, como es el caso de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía y el transporte, y el cambio de uso de la tierra, principalmente la deforestación (FIA, 2010).

1.2 Forma de acción de cambio climático

1.2.1 Efecto invernadero

Según el IPCC (2007), la variación de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alterarían el equilibrio energético del sistema climático. El Cuadro 1 indica los principales gases que producen el efecto invernadero y su concentración atmosférica.

Cuadro 1. Principales gases que producen el efecto invernadero (GEI)

Nombre del gas	Concentración Atmosférica	Fuente Natural	Fuente Artificial
Vapor de agua: H ₂ O	Variable	Evaporación desde mares, nieves y aguas superficiales.	
Dióxido de carbono: CO ₂	-288 ppm durante el periodo 1000-1750. -368 ppm en el año 2000.	Combustión, respiración, descomposición proveniente de los ecosistemas terrestres y principalmente de los marinos, circulación e intercambio entre el aire-suelos-mares.	Combustión de combustibles fósiles, cambio en el uso de la tierra (deforestación), procesos industriales y quema de biomasa.
Metano: CH ₄	-700 ppb durante el periodo 1000-1750. -1750 ppb en el año 2000.	Descomposición bacteriana, tierras húmedas, arrozales, ganado y minas de carbón.	Producción de gas natural, quema de biomasa y vertederos de basura.
Compuestos nitrogenados: NO _x		Acción bacteriana, suelos, océanos y rayos.	Descomposición de desechos y quema de biomasa.
Oxido nitroso: N ₂ O	-270 ppb durante el periodo 1000-1750. -316 ppb en el año 2000.	Océanos, bosques, tierras húmedas, actividad bacteriana y termitas.	Combustión de biomasa y combustibles fósiles, uso de fertilizantes y cultivo de leguminosas.
Compuestos sulfurados: H ₂ S, SO ₂	0.4 ppm	Acción volcánica y suelos.	Combustión de biomasa, combustibles fósiles (carbón) y emisiones industriales.
Ozono: O ₃ Troposférico	Ozono total: 5-500 ppm. Posee concentración variable	Relámpagos, suelos e introducción desde la estratosfera.	Combustión de combustibles fósiles y aeronaves subsónicas.
O ₃ Estratosférico		Formación por actividad fotoquímica.	
Clorofluorocarbonos (CFCs) [sustituto: Hidrofluorocarbonos (HFCs)].		No existe.	Productos para la refrigeración y propelentes de envases pulverizadores (aerosoles).

Fuentes: Retamal y Meza (1998); Houghton (1997); Casas y Alarcón (1999); IPCC (2001a).

Según el IPCC (2001a), durante la década de 1990 las concentraciones atmosféricas alcanzaron los niveles más altos jamás registrados (Cuadro 1). Esto se debería principalmente al consumo de combustibles fósiles, la ganadería y uso de fertilizantes; y cambios en el uso de las tierras (FIA, 2010; IPCC, 2001a).

De la misma manera, la Tierra recibe la energía del sol en forma de radiación de onda corta que atraviesa la atmósfera. Se ha observado que un 49% de la radiación solar logra alcanzar la superficie terrestre siendo reflejada o absorbida. Una parte de ella es retornada a la atmósfera como calor sensible y como evapotranspiración, la cual finalmente cae en forma de precipitación. El resto, es irradiado desde la superficie como radiación infrarroja termal hacia la atmósfera, siendo absorbida y re-emitada por los gases de efectos invernadero hacia la superficie terrestre (Houghton, 1997) (Figura 11).

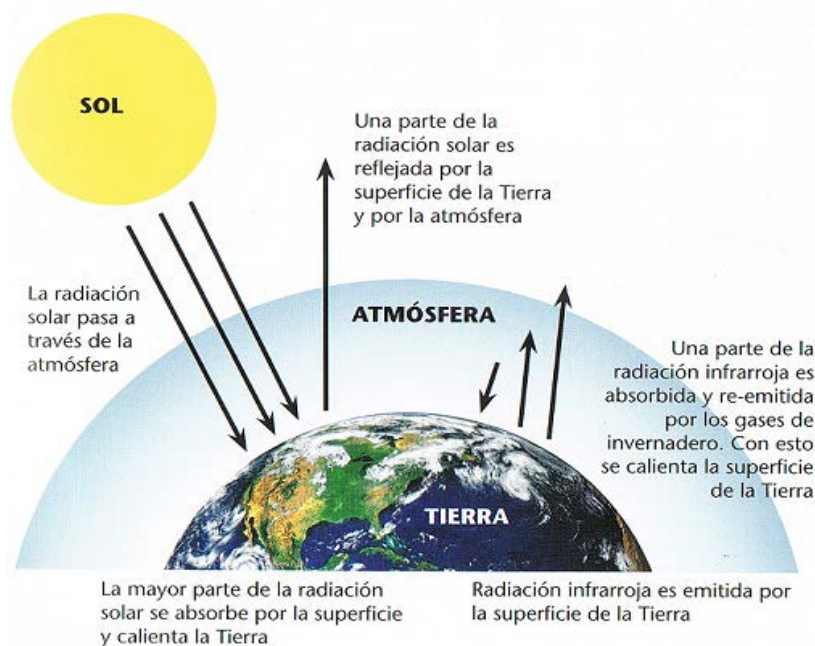


Figura 11. Efecto invernadero. (Fuente: FIA, 2010).

Como se aprecia en la Figura 11, la radiación solar es capturada por los GEI, lo que repercute en un aumento de la temperatura y en cambios en la distribución del ciclo hidrológico, con la consecuente incidencia en el cambio climático (IPCC, 2001a).

El efecto invernadero, es un proceso natural causado por los GEI los cuales operan como una cubierta que atrapa el calor en la atmósfera. La ausencia de los GEI, provocaría grandes oscilaciones de temperatura entre el día y la noche. Sin embargo, el aumento desproporcionado de las concentraciones de GEI en la atmósfera, generarían un forzamiento radiativo positivo [perturbación externa impuesta al balance radiativo del sistema climático de la Tierra (IPCC, 2001b)], que tiende a elevar la temperatura de la parte baja de la atmósfera y la superficie terrestre. Este es el llamado efecto invernadero aumentado, que corresponde a una intensificación del efecto invernadero natural (FIA, 2010).

1.2.2 Capa de ozono

La capa de Ozono es una capa de gas ubicada entre los 10 y los 50 kilómetros sobre la superficie terrestre. A esa altura, las moléculas de ozono forman una estructura que impide que los rayos ultravioleta (UV) entren a la Tierra (SINIA, 2012).

Desde la década de 1970, se ha señalado que existe una potencial amenaza para la capa de ozono. Este efecto sería causado por el aumento de la emisión de clorofluorocarbonos (CFC) y halones (Godin-Beekmann, 2010). Luego de esto, Molina y Rowland (1974) propusieron que los CFCs descompondrían la estratósfera al liberar átomos de cloro, que catalizarían la destrucción del ozono (Molina, 1996). Recientemente, la OMM (2003) reporta claras disminuciones de la capa de ozono estratosférico entre la década de 1970 hasta el año 2000, el cual es atribuido principalmente a las emisiones de CFCs.

La Figura 12, muestra la tendencia del ozono estratosférico desde 1955 hasta el año 2005.

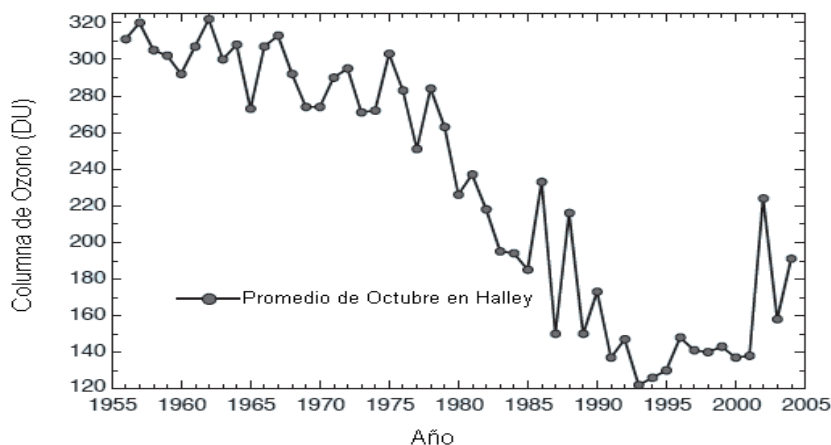


Figura 12. Promedio total de la columna de ozono medida entre Octubre de 1955 hasta 2005, mediante el uso del espectrofotómetro Dobsón (DU) en Halley, Antártica (73,5°S; 26,7°W) (Fuente: IPCC y GETE, 2005). Dobsón (DU): 1 Dobsón equivale a 0,01 mm de espesor de la capa de Ozono en condiciones normales de presión y de temperatura (1 atm y 0°C). En número de moléculas, 1 DU representa la existencia de $2,69 \times 10^{16}$ moléculas por centímetro cuadrado; Columna de ozono: corresponde a la cantidad de ozono vertical sobre la superficie terrestre y aproximadamente un 90% de la columna vertical reside en la estratósfera; Radiación ultravioleta o (UV)-B: corresponde a radiación solar dentro de una gama de longitudes de onda de 280–320 nm, cuya mayor parte es absorbida por el ozono estratosférico (IPCC, 2002).

Como se aprecia en la Figura 12, en las décadas de 1960 y 1970, la concentración de ozono estratosférico se mantuvo en valores por sobre 240 DU. En los años posteriores el ozono estratosférico muestra una constante baja en su concentración, alcanzando su valor mínimo de 120 DU en el año 1993. Más tarde, debido a las medidas tomadas durante el Protocolo de Montreal en 1987, y además, por las distintas enmiendas y ajustes aprobadas durante el decenio de 1990 sobre la restricción en la emisión de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), se aprecia un incremento en la columna de ozono (IPCC y GETE, 2005), llegando a alcanzar en 2002 un valor de 225 DU.

2. Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura, el agua y la luz (UV)

Se han descrito diversos efectos producidos por el cambio climático. Dentro de los más importantes, la temperatura, agua y luz, han mostrado ser también relevantes en la síntesis de compuestos fenólicos.

2.1 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2002; IPCC, 2007) se ha observado un aumento del promedio mundial de la temperatura en superficie (Figura 13). El concepto de temperatura en superficie mundial se refiere a la estimación de la temperatura media mundial del aire en la superficie (IPCC, 2007).

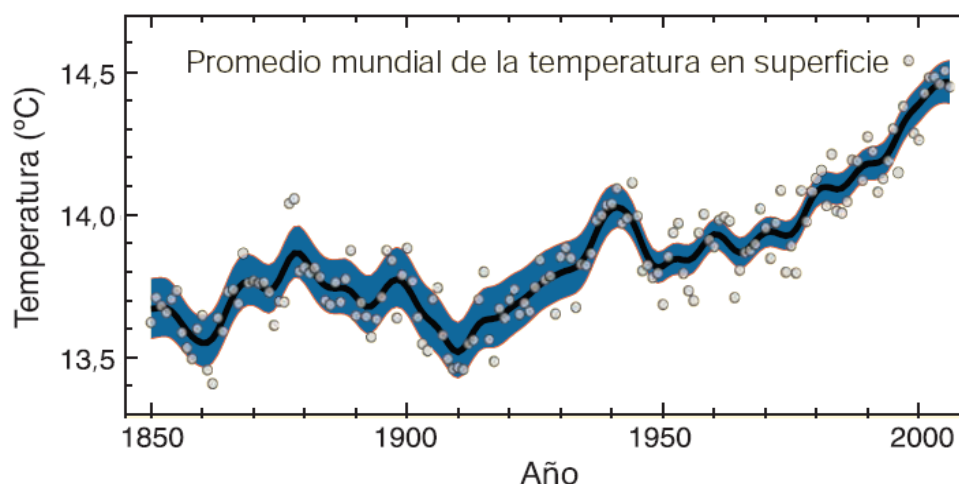


Figura 13. Cambios en el promedio mundial de la temperatura en superficie. La curva alisada representa los valores promediados decenalmente, mientras que los círculos denotan los valores anuales. Las áreas sombreadas representan los intervalos de incertidumbre (Fuente: IPCC, 2007).

A partir de la Figura 13 se observa, que existe una clara tendencia al aumento de las temperaturas registradas en los últimos 100 años. Entre 1906-2005, la temperatura mundial en superficie aumentó en $0,74^{\circ}\text{C}$, y entre 1956 y 2005 la elevación de temperatura fue de $0,13^{\circ}\text{C}$.

2.1.1 Escenarios IEEE

Las emisiones futuras de GEI son el producto de fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico, por lo que su evolución futura es muy incierta (IPCC, 2000). En este contexto, el IPCC ha realizado proyecciones de distintos escenarios para el año 2099, para así plantear imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro. Tales escenarios constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las futuras emisiones, asimismo son de utilidad para el análisis del cambio climático, para la creación de modelos del clima, la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación (IPCC, 2000).

Es así como se han considerado 6 escenarios posibles denominados escenarios IEEE: A1T, A1B, A1F1, A2, B1, y B2. El término IEEE designa los escenarios descritos en el Informe Especial de Escenarios de Emisiones del IPCC (IEEE) (IPCC, 2000), en el cual cada escenario considera variables demográficas, económicas y tecnológicas, además de las emisiones resultantes de GEI. El IPCC ha introducido el término “gobernanza” para describir cada uno de los escenarios, ya que el sentido en el que se entendía el término gobierno ha cambiado, y ha dado paso al concepto más amplio de gobernanza, que reconoce los aportes de diversos niveles de gobierno (mundial, internacional, regional y local), y además los papeles desempeñados por el sector privado, por los actores no gubernamentales y por la sociedad civil (IPCC, 2008). Asimismo, el IPCC proyecta distintas situaciones económicas, estimando el PIB mundial para cada escenario, los cuales están basados en dólares del año 1990.

Los diferentes 6 escenarios se detallan a continuación:

1. El escenario **A1F1** es descrito como una sociedad mundial orientada al mercado, con una economía de máxima rapidez de crecimiento por habitante y con un PIB mundial proyectado de 525×10^{12} dólares. Además, su gobernanza posee fuertes interacciones regionales. Al mismo tiempo, se caracteriza por un modelo tecnológico intensivo en combustibles fósiles. Su población mundial alcanzaría los 8.700 millones de habitantes para el año 2050, y decrecería para el año 2100 a 7.100 millones de habitantes.

2. El escenario **A1T** es descrito como una sociedad mundial orientada al mercado, con una economía de máxima rapidez de crecimiento por habitante y con un PIB mundial proyectado de 550×10^{12} dólares. Además, su gobernanza posee fuertes interacciones regionales. Al mismo tiempo, se caracteriza por un modelo tecnológico de fuentes energéticas de origen no fósil. Su población mundial alcanzaría los 8.700 millones de habitantes para el año 2050, y decrecería para el año 2100 a 7.000 millones de habitantes.

3. El escenario **A1B**, es descrito como una sociedad mundial orientada al mercado, con una economía de máxima rapidez de crecimiento por habitante y con un PIB mundial proyectado de 529×10^{12} dólares. Además, su gobernanza posee fuertes interacciones regionales. Al mismo tiempo, se caracteriza por un modelo tecnológico de equilibrio entre fuentes fósiles y no fósiles. Su población mundial alcanzaría los 8.700 millones de habitantes para el año 2050, y decrecería para el año 2100 a 7.100 millones de habitantes.

4. El escenario **B1** es descrito como una sociedad mundial convergente, con una economía basada en servicios e información y crecimiento menores que A1, proyectando un PIB mundial de 328×10^{12} dólares. Además, se caracteriza por una gobernanza basada en soluciones mundiales para la sostenibilidad del desarrollo económico, social y medioambiental. Al mismo tiempo, se caracteriza por la utilización de tecnología detallada como limpia y eficaz en el aprovechamiento de recursos (IPCC, 2008). Su población mundial sería la misma que para los escenarios del tipo A1.

5. El escenario **B2** es descrito como una sociedad mundial orientada a las soluciones locales, con una economía de crecimiento intermedio y con un PIB mundial proyectado de 235×10^{12} dólares. Además, se caracteriza por una gobernanza de soluciones locales y regionales para la protección del entorno, la igualdad social y medio ambiental. Al mismo tiempo, su tecnología es descrita como más rápida que A2, junto con una mayor lentitud y diversidad que A1 y B1 (IPCC, 2008). En este escenario se proyecta una población mundial intermedia, la cual está basada en la proyección de población media de 1998 de las Naciones Unidas a largo plazo, correspondiente a 10.400 millones para el año 2100.

6. El escenario **A2** es descrito como una sociedad mundial diferenciada, con una economía orientada a las regiones y mínima rapidez de crecimiento por habitante, con un PIB mundial de 243×10^{12} dólares. Además, se caracteriza por una gobernanza de autosuficiencia, con conservación de las identidades locales. Al mismo tiempo, su tecnología es definida como máxima en lentitud, acompañada de fragmentación del desarrollo (IPCC, 2008). La población mundial de A2 es detallada como de fuerte crecimiento: 15.000 millones para el año 2100.

A partir de lo expuesto anteriormente, se debe destacar que no se han asignado niveles de probabilidad a ninguno de los escenarios IEEEE. De la misma manera, se han proyectado estimaciones de cambio de temperatura para cada escenario. El cuadro 2, muestra el promedio mundial proyectado del calentamiento en superficie para cada escenario IEEEE, hacia finales del siglo XXI.

Cuadro 2. Promedio mundial proyectado del calentamiento en superficie para el final del siglo XXI.

Escenario	Cambio de temperatura (°C) entre 2090-2099 respecto de 1980-1999	
	Estimación óptima	Intervalo probable
B1	1,8	1,1 - 2,9
A1T	2,4	1,4 - 3,8
B2	2,4	1,4 - 3,8
A1B	2,8	1,7 - 4,4
A2	3,4	2 - 5,4
A1F1	4	2,4 - 6,4

Fuente: IPCC (2007).

Como se aprecia en el Cuadro 2, los posibles escenarios siempre muestran un aumento de las temperaturas, las que varían entre 1,1°C hasta 6,4°C, en el año 2099. Sin embargo, según el IPCC el aumento más probable alcanzaría los 4°C.

2.1.2 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la temperatura en Chile

En Chile, el cambio en la temperatura superficial media estacional durante el periodo 2071-2100, fue proyectado por CONAMA (2006) mediante el modelo PRECIS. En este caso se consideraron 2 escenarios de emisiones presentados por el IPCC: A2 (de valores extremos) y B2 (de valores moderados). En la Figura 14, se presentan las simulaciones de las temperaturas promedio de Chile continental para el clima actual y cambios futuros (escenarios A2 y B2).

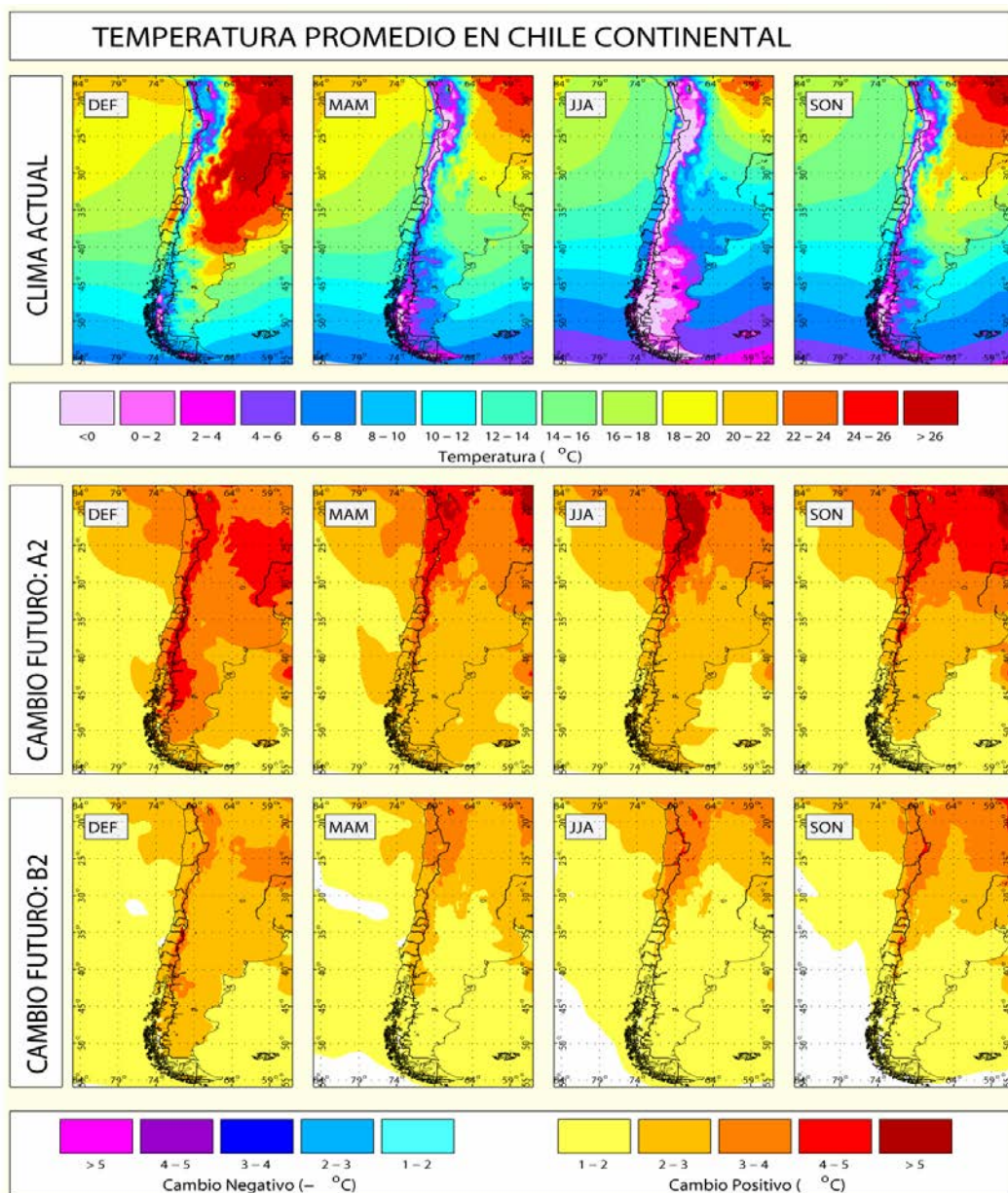


Figura 14. Temperatura media diaria en el clima actual (Figura superior) y diferencias futuro-presente (Figuras media e inferior) para cada estación del año. DEF corresponde a los meses de Diciembre, Enero y Febrero; MAM corresponde a los meses de Marzo, Abril y Mayo; JJA corresponde a los meses de Junio, Julio y Agosto; y SON corresponde a los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre (Fuente: CONAMA, 2006).

Como se aprecia en la Figura 14, el cambio de temperatura media para el escenario A2 respecto al clima actual, desde la región de Coquimbo hasta la región del BioBío, varía entre 2 a 5°C. Estas variaciones serían más acentuadas hacia las regiones andinas y en la vertiente oriental de los Andes, y disminuirían de norte a sur. Estacionalmente, el calentamiento sería mayor en verano, donde excedería los 5°C en algunos sectores altos de la Cordillera de los Andes (CONAMA, 2006).

A su vez, el cambio de temperatura media para el escenario B2, respecto al clima actual en las región de Coquimbo hasta la región del BioBío, variaría entre 1 a 4°C, alcanzando en algunas regiones andinas durante el periodo Septiembre-Febrero, una diferencia de hasta 5°C con el escenario actual.

En relación a las temperaturas extremas diarias, las mayores diferencias podrían alcanzar los 6°C cuando se considera la diferencia A2-Clima Actual. Estas variaciones se concentrarían sobre la cordillera de la zona norte durante el verano (CONAMA, 2006).

Por otro lado, las zonas menos afectadas bajo el escenario B2, serían las regiones Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y de Magallanes y la Antártica Chilena, con aumentos de entre 1-2°C durante el periodo Marzo-Agosto. Asimismo, en determinados sectores de la región de Magallanes y la Antártica Chilena existirían aumentos menores a 1°C, durante todo el año (Figura 14).

En conjunto con lo anterior, el FIA (2010) entrega una proyección del cambio climático sobre el territorio nacional para el año 2040 (Figura 15).

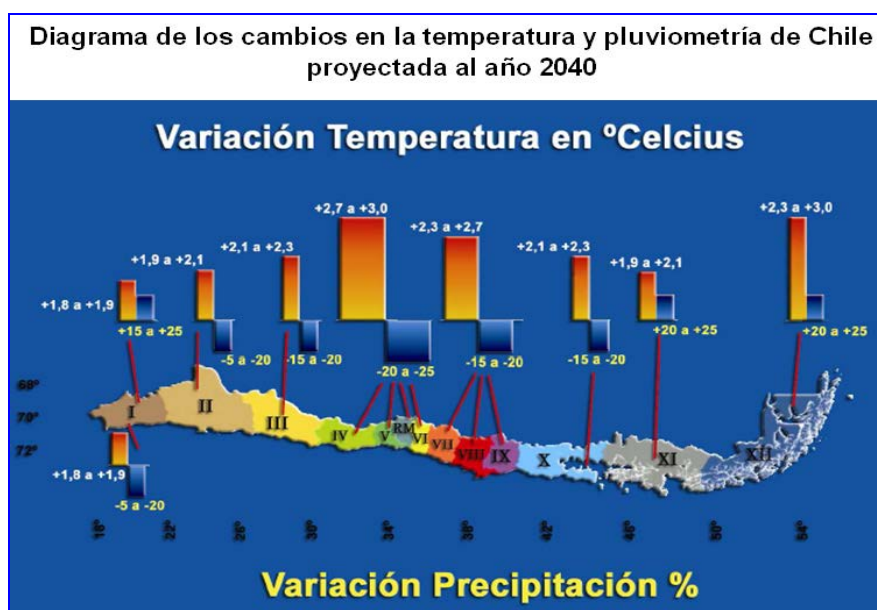


Figura 15. Chile: Diagrama de los cambios en la temperatura y pluviometría de Chile proyectada al año 2040 (FIA, 2010).

Como se aprecia en la figura 15, las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins y de Magallanes y la Antártica Chilena, podrían aumentar su temperatura hasta 3°C; mientras que las regiones del Maule, del BioBío y de la Araucanía podrían hacerlo en hasta 2,7°C, para el año 2040.

2.2 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre el agua

El IPCC (2008) señala que el aumento de temperatura observado durante varias décadas ha sido vinculado a cambios experimentados por el ciclo hidrológico en gran escala. De esta forma, el IPCC ha proyectado dichos cambios en relación al agua.

Por otro lado, se estima que la demanda a nivel mundial de agua dulce aumentaría en los próximos decenios, debido principalmente al aumento de la población e incremento del poder adquisitivo en los países en desarrollo (FIA, 2010). Asimismo, según World Commission on Dams (2000) existe un eventual crecimiento en la demanda hidroeléctrica mundial.

A continuación se detallan los cambios proyectados en escorrentía, precipitaciones y vapor de agua, humedad del suelo y evaporación, glaciares y nieve.

2.2.1 Escorrentía

Según Monsalve (1995), escorrentía se define como la parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno (escorrentía superficial) o por debajo de aquel (escorrentía subterránea).

Para mediados de siglo XXI, el IPCC (2007) prevé que la escorrentía aumentaría entre un 10% y un 40% en latitudes altas, y en ciertas áreas tropicales pluviales. Asimismo, la escorrentía disminuiría entre un 10% y un 30% en ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la disminución de las lluvias y mayores tasas de evapotranspiración. Esto provocaría que las áreas de sequía aumentaran en extensión.

Según Arnell (2004), estas áreas corresponden a todo el Mediterráneo, centro y sur de Europa, América central y África meridional. Sin embargo, sectores de Australia y América del norte y sur también se verían afectados por escorrentías negativas para finales de siglo (Figura 16).

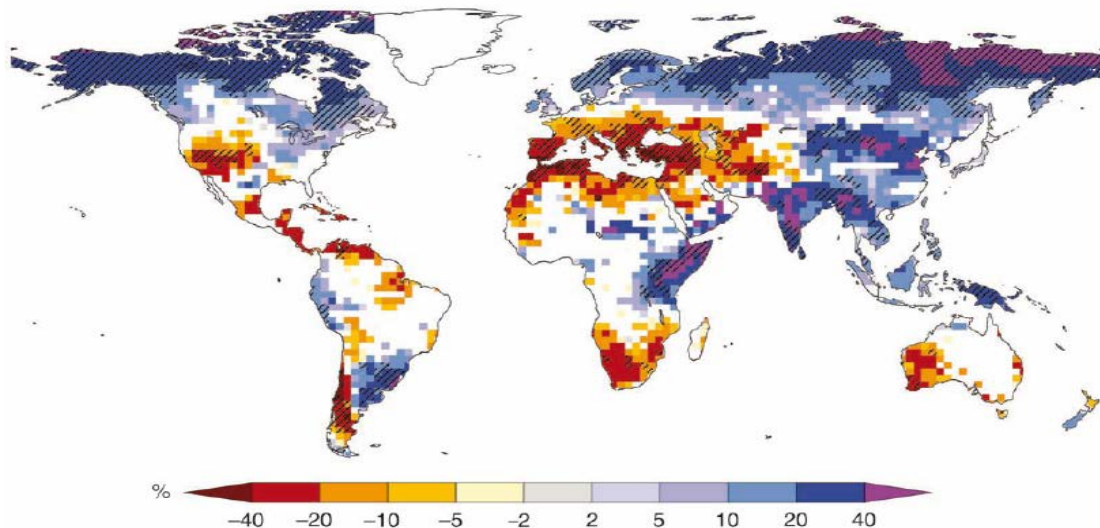


Figura 16. Cambios relativos de la escorrentía anual en gran escala (disponibilidad de agua, en valores porcentuales) para el periodo 2090-2099, respecto del periodo 1980-1999. Fuente: IPCC (2007).

Como se aprecia en la Figura 16, las áreas donde la escorrentía anual se vería afectada negativamente entre un 20% a un 40%, para el año 2099 son: la zona occidente de Estados Unidos, Centro-América, centro-sur de Chile, centro-occidente de Argentina, occidente de Australia, sur-occidente de África (Sud-África y Namibia), zona Norte de África (Marruecos, Argelia, Túnez y Libia), España, Italia, la península de los Balcanes, Turquía y Siria.

Mientras que en zonas como el norte de Canadá, occidente de Uruguay, oriente de África (Etiopía, Kenia y Somalia), zonas de la India, China, Mongolia, Myanmar y el norte de Rusia, se estima que aumentará la escorrentía anual desde un 40% o más para el año 2099.

Según la CONAMA (2006), en Chile existirían repercusiones importantes en la escorrentía esperada para fin de siglo. Asimismo, para el año 2065 se estima un alza de la isoterma de 0°C entre unos 300 a 500 m, lo cual implicaría una reducción del área capaz de retener acumulación nival. Esta reducción para el área comprendida entre las latitudes 30 y 35° S, corresponde a una pérdida de 5000 km², equivalente a un 23% de la superficie capaz de retener nieve depositada en los meses invernales para la estación cálida. La estimación incluye ambas vertientes de la Cordillera de Los Andes.

Además para las regiones de mayor productividad silvoagropecuaria, y en el que se ubica la generación hidroeléctrica del sistema interconectado (latitudes 30 y 40°S), existirían reducciones del área comprendida dentro de la isoterma cero en todas las estaciones del año, pérdida que es muy significativa durante los cuatro primeros meses del año calendario (CONAMA, 2006).

2.2.2 Precipitaciones y vapor de agua

Según Monsalve (1995), las precipitaciones se definen como un agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo. Por su parte, Chow *et al.* (1994) mencionan que el vapor de agua corresponde al principal estado del agua en la atmósfera, es decir, en forma de gas o vapor.

Por otro lado, el IPCC (2008) proyecta para el periodo 2080-2099, bajo el escenario A1B, la distribución de la precipitación media anual mundial. De esta forma, en la mayoría de las latitudes altas, así como en el África oriental, norte del Asia central y Pacífico ecuatorial, sobrevendrían aumentos de la precipitación anual superiores al 20%. Contrariamente, en las regiones del Mediterráneo y el Caribe, y en las costas occidentales subtropicales de cada continente, sobrevendrían disminuciones sustanciales, de hasta un 20%. En conjunto, la precipitación terrestre aumentaría en torno a un 5%, mientras que la recibida por los océanos aumentaría un 4%.

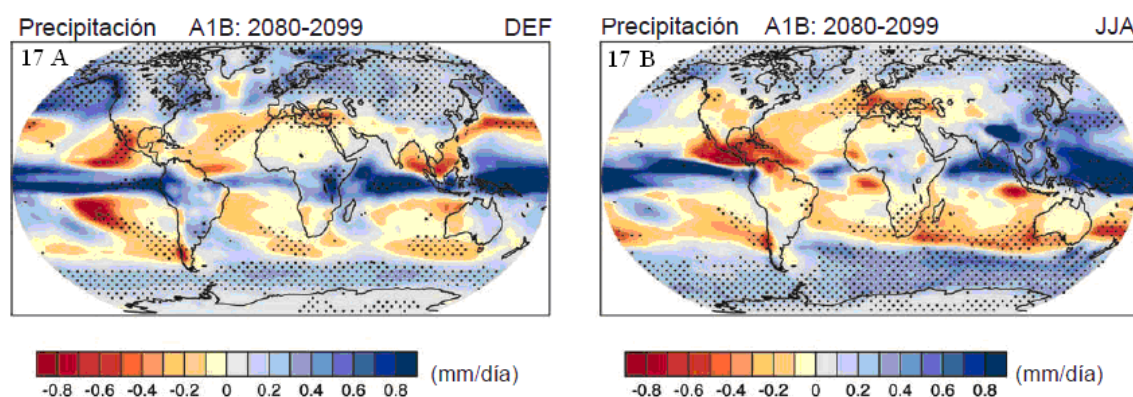


Figura 17. Media de 15 modelos de los cambios de precipitación correspondientes al periodo 2080-2099 comparado con 1980-1999, durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero (DEF) (Figura 17 A), y los meses de Junio, Julio y Agosto (JJA) (Figura 17 B). Los cambios están basados en el escenario A1B del IEEA. Los puntos negros indican áreas en que la magnitud del valor medio del agregado multimodelos excede de la desviación típica entre modelos (Fuente: IPCC, 2008).

La Figura 17 muestra la proyección de precipitaciones para el periodo 2080-2099. Se observa que las áreas mundiales más afectadas, donde las precipitaciones descenderían en $0,8 \text{ mm-día}^{-1}$, serían Centro-América, centro-sur de Chile, Francia y Malasia.

Leemans y Kleidon (2002, citado por el IPCC 2008) señalan que el aumento de la intensidad pluvial produciría una mayor erosión, provocando una disminución en las características del agua, debido a un mayor transporte de patógenos y poluyentes, lo que aumentaría la absorción de sustancias como metales pesados o fósforo. Asimismo, Chen *et al.* (2004) señalan que en acuíferos terrestres, una menor recarga de agua subterránea podría ocasionar la intrusión de agua salada de acuíferos salinos cercanos.

Para el caso de Chile, el cambio en las precipitaciones para el periodo 2071-2100, fue proyectado mediante el modelo PRECIS, tomando en consideración 2 escenarios de emisiones presentados por el IPCC: A2 de valores extremos y B2 de valores moderados (CONAMA, 2006). En la Figura 18, se presentan las simulaciones de las precipitaciones acumuladas medias estacionales de Chile continental, obtenidas mediante el modelo PRECIS para el clima actual, y cambios futuros (escenarios A2 y B2) para el periodo 2071-2100.

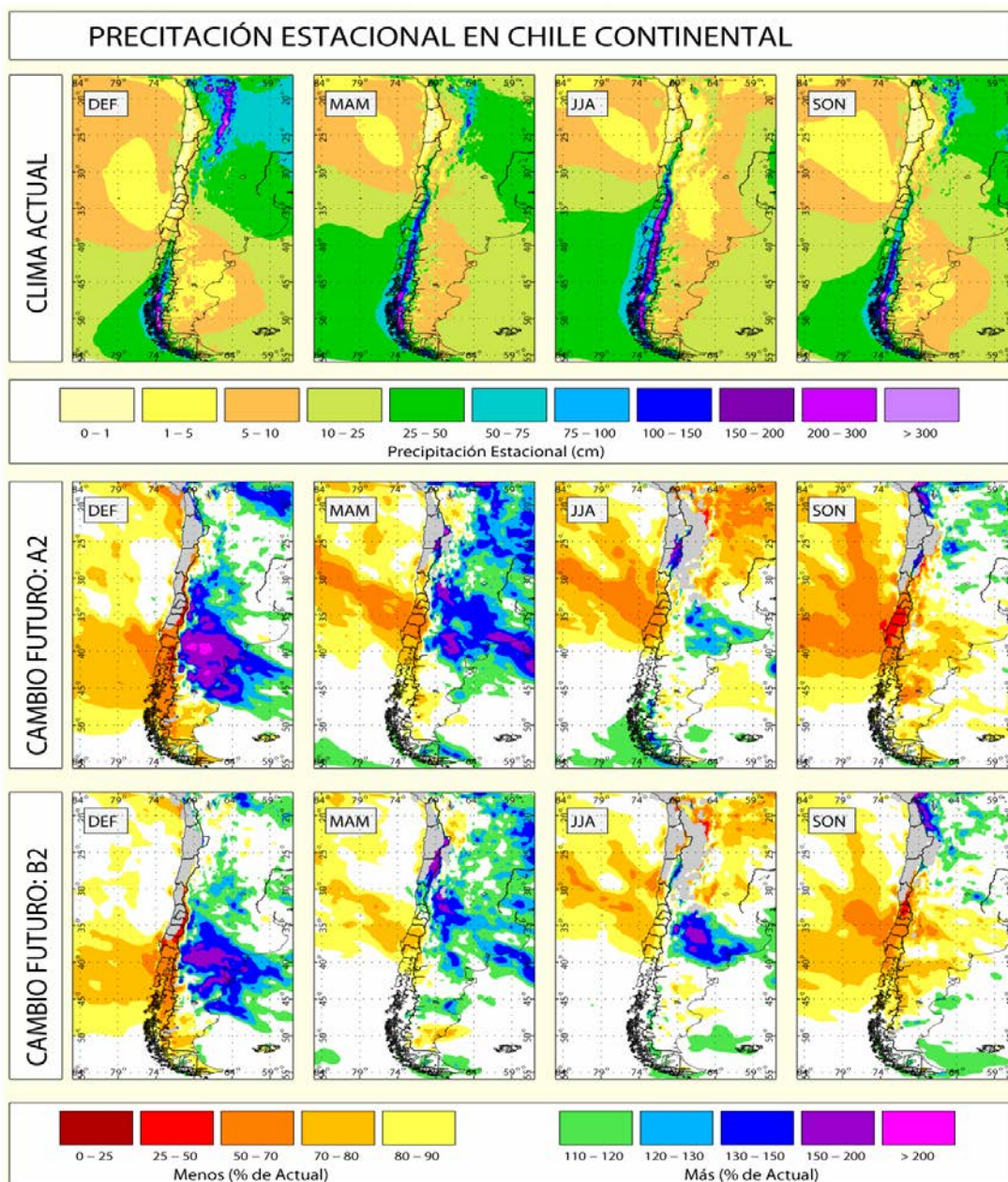


Figura 18. Precipitación estacional en el clima actual (Figura superior) y diferencias futuro-presente (Figuras media e inferior) para cada estación del año. DEF corresponde a los meses de Diciembre, Enero y Febrero; MAM corresponde a los meses de Marzo, Abril y Mayo; JJA corresponde a los meses de Junio, Julio y Agosto; y SON corresponde a los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre (Fuente: CONAMA, 2006).

En la Figura 18 se observa una disminución acentuada en la precipitación acumulada media estacional entre las regiones de Coquimbo y de Magallanes y la Antártica Chilena. En relación a esto CONAMA (2006), menciona lo siguiente:

- Bajo el escenario B2, en el Norte Chico (de 26 a 32° latitud S) el incremento de las precipitaciones se extendería en una amplia superficie, abarcando toda la faja del territorio chileno entre los 20 y 33° latitud S en otoño. Sin embargo, en invierno afectaría solo a la región andina con mayor incremento en la mitad norte.
- En la región de Chile central (de 31 a 37° latitud S) habría una disminución generalizada de las precipitaciones bajo el escenario A2, condición que se mantiene en el escenario B2, con la excepción de la estación de otoño para latitudes inferiores a 33°S. La pérdida es del orden de 40%, pero reduciéndose durante el otoño y el invierno bajo el escenario B2.
- En la región sur (36 a 45° latitud S), durante otoño e invierno, existiría una transición hacia los valores del clima actual, la cual es más rápida en el caso B2. Durante el verano, las pérdidas de pluviosidad son del orden de 40%, reduciéndose en primavera a un 25%.

Finalmente, la CONAMA (2006) menciona que la precipitación acumulada media estacional para el periodo 2071-2100 tendría un aumento en la ladera oriental (Argentina) y una disminución en la ladera occidental (Chile continental y el Pacífico adyacente), particularmente en latitudes medias y en las estaciones de verano y otoño. Esta tendencia se acentúa en el escenario A2 durante el verano. Tales disminuciones pluviométricas se suman a la elevación de la isoterma cero, para ofrecer un cuadro particularmente preocupante en las regiones centro y centro-sur del país.

Asimismo, según el FIA (2010) (Figura 15) para el año 2040 se esperarían disminuciones en las precipitaciones sobre las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins de hasta un 25%; mientras que para las regiones del Maule, del BioBío, de la Araucanía y de los Lagos las disminuciones en las precipitaciones podrían alcanzar el 20%.

2.2.3 Humedad del suelo y evaporación

A causa de que las precipitaciones y el vapor de agua están relacionados con los parámetros de la humedad del suelo y evaporación, el IPCC (2008) realizó proyecciones para estos últimos a nivel mundial, de esta forma las áreas más afectadas son principalmente el norte de África: Mauritania, Marruecos, Argelia, Libia y Egipto; el sur de África; Turquía, Grecia, Italia y la península Ibérica; Chile y sur de Argentina; México; y el sur-occidente de Australia. A su vez las principales áreas que se proyectan con aumentos en ambos parámetros, son el África oriental y central; Etiopía, Somalia, Kenia, Níger, y Chad; el sur de la península Arábiga; y Asia Central: Kazajistán, Mongolia y Rusia.

2.2.4 Glaciares y nieve

Más de la sexta parte de la población mundial vive en cuencas fluviales alimentadas por glaciares o por el deshielo (Stern, 2007). De acuerdo a las predicciones elaboradas por el IPCC (2008) el aumento en la temperatura ocasionaría una reducción de los hielos fluviales y lacustres provocando un impacto importante en la población referente a la disponibilidad de agua potable, energía eléctrica, y agricultura.

En la Figura 19 se evidencia de que el aumento de las temperaturas causaría consecuencias sobre el agua en estado sólido, generando cambios en la cubierta de nieve en el hemisferio Norte.

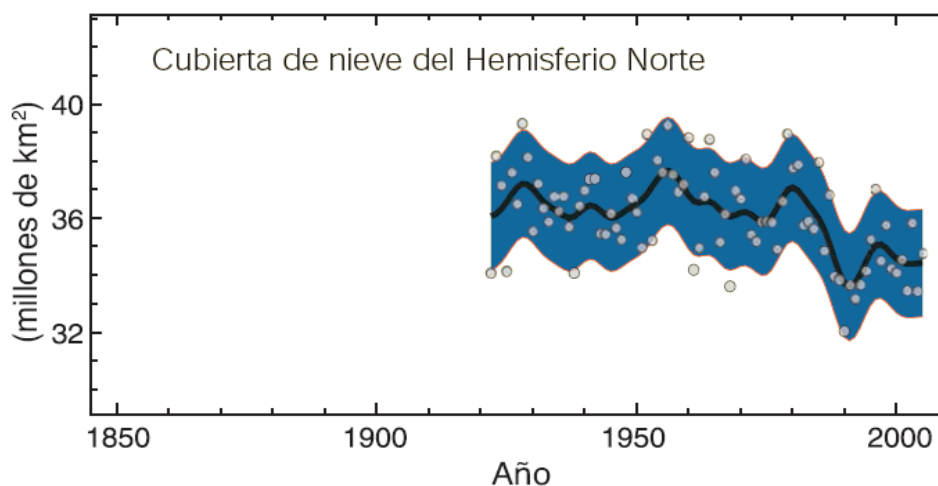


Figura 19. Cambios en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte. Las curvas alisadas representan los valores promediados decenales, mientras que los círculos denotan los valores anuales. Las áreas sombreadas representan los intervalos de incertidumbre (Fuente: IPCC, 2007).

Como lo muestra la Figura 19, desde el año 1980 existe una tendencia hacia una menor superficie cubierta por nieve en el Hemisferio Norte. En esta misma línea, se han realizado simulaciones de once glaciares en el ártico, demostrando que podrían disminuir en un 60% su volumen promedio para el año 2050 (Schneeberger *et al.*, 2003). Esta tendencia podría repetirse con los glaciares de la Cordillera de los Andes. Vuille *et al.* (2008) ha señalado que estos glaciares se encontrarían en un retroceso generalizado, acompañado de un fuerte adelgazamiento. Este proceso continuaría durante este siglo originando incluso la desaparición de algunos.

A lo anterior se agrega la transformación de la precipitación invernal de nieve y menos erosiva, a precipitación pluvial más erosiva, que por efecto del aumento de las temperaturas invernales agravaría la erosión. Asimismo, a causa del aumento de temperatura se produciría la fusión de permafrost [suelo o roca, junto con hielo y materia orgánica, que permanece a un máximo de 0°C durante al menos dos años consecutivos (IPCC, 2008)], convirtiendo en erosionables suelos que previamente no lo eran.

2.3 Proyecciones del efecto del cambio climático sobre la luz UV

En proyecciones realizadas por el IPCC (2005) para el año 2025, la concentración de ozono estratosférico retomarí­a sus valores normales anteriores a 1980 (Figura 20).

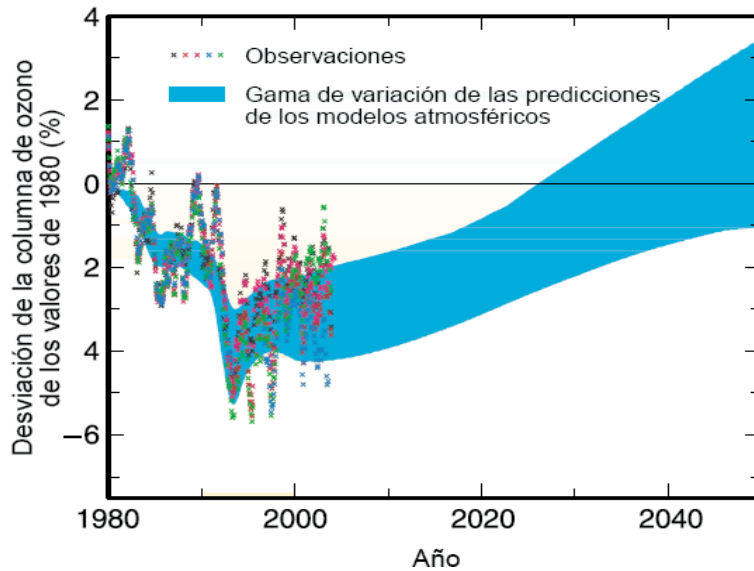


Figura 20. Cambios observados y pronosticados mediante modelos en la columna de ozono, entre las latitudes 60° N- 60° S. Las observaciones correspondientes a símbolos negros indican las mediciones tomadas en tierra, mientras que los símbolos de colores (naranja, rosa, azul y verde) representan distintos grupos de datos tomados por satélite. (Fuente: IPCC y GETE, 2005).

Como se aprecia en la Figura 20, los valores de la columna de ozono entre las latitudes 60° N y 60° S se redujeron a partir de la década de 1980. Para comienzos del siglo XXI, se aprecia un aumento en la concentración de ozono a causa de las medidas tomadas durante el Protocolo de Montreal en 1987 y distintas enmiendas y ajustes aprobadas durante el decenio de 1990 en relación a la restricción de la emisión de las SAO (IPCC y GETE, 2005). Sin embargo, Mckenzie *et al.*, (2007) mencionan que aunque los niveles de ozono estratosférico han aumentado, se desconoce si volverán totalmente a sus valores normales, por lo que muy probablemente la luz UV se mantenga con niveles altos durante décadas.

III. Efecto del cambio climático sobre los metabolitos primarios y secundarios

La influencia del clima sobre la producción de vinos, ha tenido una repercusión que es avalada por diferentes registros históricos. De esta forma, Pfister (1988) y Gladstones (1992) (ambos citados por Jones *et al.* 2005) mencionan que durante el periodo 900-1300 d.C. denominado como “Little Optimum” o “Periodo cálido medieval”, los viñedos fueron plantados hacia los sectores del norte de Europa, alcanzando la costa del mar Báltico, como así también el sur de Inglaterra. Asimismo, existen registros que mencionan que durante la alta edad media (siglos XII y XIII), la cosecha ocurría a principios de septiembre. El caso contrario se desarrolló durante los siglos XIV al XIX en la llamada “Pequeña edad de hielo” (Ogilvie y Jónsson, 2001), caracterizado por drásticas declinaciones de la temperatura, resultando en la desaparición de la mayor parte de los viñedos establecidos durante el “Periodo cálido medieval”, en sectores del norte de Europa, lo que además dificultó la cosecha en los sectores sureños debido a temporadas de crecimiento muy cortas.

A continuación se detallarán los aspectos relevantes del probable efecto del cambio climático sobre los metabolitos primarios y secundarios producidos por *Vitis vinífera* L. En este último caso, se profundizará en el análisis del efecto de la temperatura, precipitación y luz sobre los compuestos fenólicos.

1. Efecto sobre los metabolitos primarios

Los metabolitos primarios son moléculas de bajo peso molecular que intervienen en las distintas rutas anabólicas y catabólicas. En el caso de la vid los metabolitos primarios más importantes son la glucosa, fructosa y ácidos orgánicos (Ali *et al.*, 2010).

Se ha observado que un aumento de la temperatura ambiental generaría un sobre-disminución de la acidez de los vinos, provocada por el aumento de las tasas de respiración. Esto produciría vinos sensorialmente desequilibrados, planos y poco frescos (Jones, 2007). De la misma manera un aumento de la temperatura, generaría un mayor contenido de hidratos de carbono en la uva y consecuentemente un aumento del contenido de alcohol en los vinos producidos con esas uvas. Esta última observación ha sido avalada por Vierra (2004), que muestra un incremento de 12,5% v/v a 14,8% v/v de alcohol, para el periodo de 1971-2001 en Napa, California. Por otra parte, Duchêne y Schneider (2005), señalan que los niveles de alcohol en el cultivar Riesling se han incrementado un 2,5% v/v en los últimos 30 años.

Por otra parte, se ha observado que aumentos significativos de la intensidad lumínica conducirían a una disminución del rendimiento del sistema fotosintético, lo que provocaría una disminución de distintos metabolitos. Así, Bergqvist *et al.* (2001), señalan que con una PAR por sobre los 51-100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ existe una disminución en la concentración de sólidos solubles. Estos mismos autores observaron que la acidez titulable disminuye a medida que la PAR aumenta. Para el caso del agua, existen estudios que reportan repercusiones sobre la concentración de sólidos solubles (Castellarin *et al.*, 2007b), y los ácidos orgánicos a causa de un estrés hídrico.

2. Efecto sobre los metabolitos secundarios: compuestos fenólicos

2.1 Proyecciones del efecto del cambio climático a nivel mundial: temperatura

Tal como se mencionó anteriormente, el IPCC ha proyectado un aumento mundial de la temperatura en superficie de 4°C para fines del siglo XXI y de 2°C para el año 2049 (IPCC, 2007). Por su parte, Jones *et al.* (2005) realizaron una comparación de la temperatura de la temporada de crecimiento de vides de 27 zonas vitivinícolas, entre los periodos de 1950-1999 y 2000-2049. Los cambios de temperatura durante el periodo 2000-2049 revelan promedios de tendencias que van desde 0,88°C/50 años en Sud-África, hasta 2,85°C/50 años en el sur de Portugal. De la misma manera, los resultados sugieren que la temperatura media de la temporada de crecimiento se incrementaría en un promedio de 2,11°C en el hemisferio Norte y de 1,71°C para el hemisferio Sur (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis usando el modelo de HadCM3, para 27 regiones productoras de vinos.

Región	Grupo de maduración climática	Aumento de la temperatura (°C) durante la temporada de crecimiento para el periodo 2000-2049
Valle del Mosela	Frío	1,51
Alsacia	Frío	1,65
Champaña	Frío	1,51
Valle del Rin	Frío	1,51
Oregon (Norte)	Intermedio	1,56
Valle del Loira	Intermedio	2,14
Borgoña-Côte	Intermedio	2,09
Borgoña-Beaujolais	Intermedio	2,26
Chile	Intermedio	1,84
Washington (Este)	Intermedio	2,81
Burdeos	Intermedio	2,33
Washington (Central)	Intermedio	2,27
Rioja	Intermedio	2,52
Oregon (Sur)	Intermedio	2,35
California (Costa)	Caluroso	1,85
Sudáfrica	Caluroso	0,88
California (Norte)	Caluroso	2,16
Valle del Ródano (Norte)	Caluroso	2,26
Portugal (Norte)	Caluroso	2,42
Barolo	Caluroso	2,41
Valle del Ródano (Sur)	Caluroso	2,26
Margaret River	Caluroso	2,04
Chianti	Caluroso	2,30
Hunter Valley	Muy caluroso	1,78
Barossa Valley	Muy caluroso	2,01
Portugal (Sur)	Muy caluroso	2,85
California (Sur)	Muy caluroso	1,38

Fuente: Jones *et al.* (2005).

Las variaciones de temperatura proyectadas podrían afectar el nivel del mar, lo que influiría directamente las zonas costeras en climas vitivinícolas (Tate, 2001). Este aumento en la temperatura, incluso podría tener efectos sobre la incidencia de plagas y enfermedades (Tate, 2001). De la misma manera, distintos estudios han relacionado las proyecciones de temperaturas durante el siglo XXI, con las etapas fenológicas de la vid vinífera. Así, Caffarra y Eccel (2011) mencionan que en los valles italianos de San Michelle y Cembra, las etapas fenológicas de vid vinífera se han reducido considerablemente en los últimos 20 años. Estos autores declaran que ciertas áreas montañosas que hoy no son aptas para la maduración de uvas para vino, si lo serán para Chardonnay hacia finales de siglo XXI. Además, en Cembra y San Michelle, se espera que hacia finales del siglo XXI, la temperatura exceda a la actual en un promedio de 2 a 4,5°C para B2 y A2, respectivamente.

Por otra parte, las proyecciones de Weeb *et al.* (2007) basadas en datos fenológicos desde el año 1990, revelan una reducción en la duración de la temporada de 4 a 37 días para Cabernet Sauvignon, mientras que para Chardonnay el ciclo disminuiría entre 3 a 40 días hacia el año 2050. Los mismos autores proyectan un aumento de la temperatura durante la cosecha de Cabernet Sauvignon, al comparar el año 1990 con 2050, la cual podría alcanzar entre 2,3 y 5,9°C, dependiendo de la región vitivinícola. Por otro lado, Marchant (2010) proyecta que las principales cepas de vid cultivadas en Chile (Sauvignon Blanc, Chardonnay, Merlot, Cabernet Sauvignon, Syrah, y Carménère) mostrarían un acortamiento de hasta un 26% durante cada fase fenológica, efecto que se acentuaría en el escenario A2 para finales del siglo XXI.

A partir de lo mencionado anteriormente, se observa que una modificación de la temperatura ambiental producto del cambio climático, provocaría una variación del ciclo fenológico de la vid. Según la Figura 10, esta alteración podría producir un efecto sobre la síntesis de compuestos fenólicos ya que un adelantamiento de ciclo fenológico (demarcado con una línea roja) provocaría una menor concentración de antocianos y proantocianidinas del hollejo, mientras que las proantocianidinas de la semilla estarían en mayor concentración. Esta última tendencia podría compensar la menor disponibilidad de proantocianidinas de hollejos. Sin embargo, una variación en el ciclo fenológico podría afectar el mDP, porcentaje de galoilación y peso molecular promedio de las proantocianidinas, lo que generaría efectos sensoriales detallados más adelante.

Además del efecto sobre los compuestos fenólicos provocado por la modificación del ciclo fenológico, la variación de la temperatura podría conducir a una modificación directa sobre la síntesis de estos compuestos (Mori *et al.*, 2005; Huglin y Schneider, 1998. Citado por Mira de Orduña 2010). Por su parte, Poudel *et al.* (2009) señalan que con temperaturas por sobre los 30°C, existiría un menor contenido de monómeros de proantocianidinas, flavonoles, antocianos y fenoles totales. Por lo tanto, un aumento de 1,51°C en el Valle de Mosela, donde la media de las temperaturas durante la temporada de crecimiento alcanzan los 13,0°C (Jones *et al.* 2005), no traería consigo una repercusión negativa en la ruta de síntesis de los compuestos fenólicos. Por otro lado, en el sur de Portugal las temperaturas medias alcanzan los 23°C (NASA, 2012), y al considerar los promedios de tendencias elaborados por Jones *et al.* (2005) para el año 2099, en localidades como Lagos, Portimão, Lagoa, y Tavira, se podrían alcanzar temperaturas medias para la temporada de crecimiento por sobre los 28,6°C y aumentos de temperaturas superiores a los 30°C, lo que podría incidir en menores contenidos de

monómeros de proantocianidinas, flavonoles, antocianos y fenoles totales (Poudel *et al.*, 2009).

2.2 Proyecciones del efecto del cambio climático a nivel mundial: agua

Las variaciones proyectadas en el contenido de agua durante el siglo XXI podrían provocar diferentes efectos, tales como, inundaciones en los viñedos (Tate, 2001), menor disponibilidad de agua de riego (Shultz, 2000), aumento de la superficie de zonas áridas o semiáridas (IPCC, 2008), entre otros.

De la misma manera, se han vinculado los cambios proyectados en el contenido de agua con el desarrollo fenológico de la vid vinífera. Así, Carter (2006) menciona que durante el periodo 2046-2065, en la zona vitivinícola occidental del Cabo en Sudáfrica, existirían disminuciones en el promedio de precipitaciones, además de mayores y más largos periodos secos, lo que unido al aumento de la temperatura sobre la región, conduciría a una mayor evaporación y por ende a una escasez de los recursos hídricos. De esta manera se afectarían tanto el desarrollo fenológico de la vid, como los recursos hídricos necesarios para el riego y la producción. Según Carter (2006), esto provocaría que para mediados del siglo XXI la elaboración de vino en esta zona, sería más arriesgada, elevaría el costo de producción por la implementación de estrategias de adaptación más caras y aún desconocidas, y al mismo tiempo disminuiría el número de vitivinicultores, debido a los menores márgenes de beneficios económicos. A partir de lo indicado anteriormente, las modificaciones sobre la disponibilidad del agua, al igual que la modificación de la temperatura, podrían tener repercusiones sobre el ciclo fenológico de la vid, y por lo tanto afectar la síntesis de compuestos fenólicos. Sin embargo, no se han detallado estudios que proyecten y relacionen ambas variables durante siglo XXI.

Además del posible efecto sobre los compuestos fenólicos provocado por la modificación del ciclo fenológico, la variación del contenido disponible de agua podría provocar repercusiones directas sobre la síntesis de dichos compuestos. Según Hidalgo (2003), un exceso hídrico conllevaría a una menor cantidad de polifenoles en las bayas. Por otra parte, el estrés hídrico se ha asociado con una mayor síntesis y contenido de fenoles totales, antocianos, y proantocianidinas (Ortega-Farias *et al.*, 2004; Roby *et al.*, 2004; Castellarin *et al.*, 2007a). De esta forma, en zonas donde se proyectan para finales de siglo un aumento en las precipitaciones y escorrentía, como Uruguay y el sur de Nueva Zelanda, se podrían obtener bayas con menores contenidos de polifenoles. Contrariamente, en zonas vitivinícolas donde se proyectan disminuciones en la disponibilidad de agua, tales como Francia, España, Italia y centro-sur de Chile se podría provocar una mayor síntesis y contenido de fenoles totales, antocianos, y proantocianidinas en las bayas de *Vitis vinífera* L. Sin embargo, se debe hacer alusión que la prevención será esencial para el control y el manejo del agua sobre estos viñedos. Al mismo tiempo, se debe considerar que las proyecciones mencionan que las reservas de agua dulce disminuirán para finales de siglo (IPCC, 2008), lo que convierte al recurso hídrico en cada vez más escaso y de mayor costo (Schultz, 2000), por lo que el uso eficiente del agua deberá ser cada vez mayor.

2.3 Proyecciones del efecto del cambio climático a nivel mundial: luz UV

De acuerdo a Schultz (2000), la luz UV provocaría disminuciones en la fotosíntesis, en la concentración de aminoácidos del vino y en la disponibilidad de algunos nutrientes. Al mismo tiempo, se ha relacionado la irradiación UV-B con una mayor incidencia de *Uncinula necator* (oídio), aumento y/o disminuciones de incidencia de plagas y vectores de enfermedades sobre las bayas de vid, el cual se acentuaría en cultivares blancos, a causa de la ausencia de flavonoides los cuales actúan como pigmentos fotoprotectores (Keller *et al.*, 2003; Caldwell *et al.*, 2007).

Asimismo, se proyecta que la irradiación UV no descendería su incidencia sobre la superficie terrestre hasta mediados de siglo (Mckenzie *et al.*, 2007). De esta forma, durante este periodo existiría una mayor estimulación de los genes de la ruta fenilpropanoide (Gollop *et al.*, 2002; Park *et al.* 2007), lo que conduciría hacia una mayor acumulación de flavonoides y antocianinas, pero al mismo tiempo se debe considerar que las irradiaciones con frecuencias menores a los 400 nm inciden negativamente sobre la tasa fotosintética, y la calidad de la uva y el vino (Schultz, 2000).

3. Consecuencias del cambio climático sobre las características sensoriales de color, amargor y astringencia de los vinos chilenos

3.1 Efecto de la temperatura

Según Marchant (2010) la temperatura ambiental tendría fuertes repercusiones sobre el desarrollo de la vid. Es así, como la autora propone una disminución importante en la duración de cada fase fenológica de la vid vinífera para fines del siglo XXI, cuyo efecto podría acentuarse en los escenarios más extremos. Además, la autora agrega que la reducción del ciclo fenológico en distintas variedades tintas podría variar entre 20 y 26,8% en la zona central de Chile. Esta reducción del ciclo fenológico podría generar una menor acumulación de polifenoles en los hollejos (Figura 10). De esta forma la composición de los polímeros polifenólicos podría verse fuertemente afectada. Contrariamente, una reducción del ciclo fenológico lograría producir un aumento en la velocidad de acumulación de estos compuestos, mediante la aceleración de los procesos fisiológicos de la planta, para lograr alcanzar una cierta cantidad de polifenoles, ya que bajo condiciones de estrés los vegetales tienden a armonizar sus procesos para alcanzar la producción de los metabolitos necesarios para la subsistencia (aclimatación) (Lambers *et al.*, 2008).

Tal como se indicó anteriormente, la temperatura es un factor fundamental en la síntesis de compuestos fenólicos (Peña-Neira, 2005; Mori *et al.*, 2005; Poudel *et al.*, 2009; Huglin y Schneider, citado por Mira de Orduña 2010). Por otra parte, en las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule y del BioBío (principal zona vitivinícola nacional) existirían aumentos en las temperaturas medias durante todo el año (desde 2 hasta 5°C), alcanzándose las mayores temperaturas en el sector cordillerano y durante el periodo estival (Figura 14) (CONAMA, 2006). De esta forma, durante el presente siglo los efectos del cambio climático podrían provocar aumentos en las temperaturas medias de hasta 5°C en algunas zonas de Chile como Pirque (Figura 14) (CONAMA, 2006), alcanzando temperaturas por sobre los 30°C.

Es así como un aumento por sobre el óptimo necesario para la actividad de las enzimas, y genes de dichas enzimas participantes, en la biosíntesis de compuestos fenólicos podría provocar una disminución considerable de estos metabolitos secundarios. Así, una menor concentración de antocianinas provocaría una disminución de la coloración en bayas y vinos tintos (Mori *et al.*, 2005; Obreque-Slier *et al.*, 2010a). Es interesante señalar que la coloración de los vinos tintos es fuertemente dependiente de la unión entre los antocianos con algunos copigmentos, tales como proantocianidinas (Francia-Aricha *et al.*, 1997), flavonoles y flavonas (Boulton, 2001; Martens y Mithöfer, 2005). Una disminución de estos últimos podría provocar un descenso en la intensidad colorante producto de la disminución de la expresión de los compuestos antociánicos a causa de una menor copigmentación. Otros compuestos como el ácido cafeico y el ácido gálico, los cuales se han relacionado con el pardeamiento en los vinos blancos (Sioumis *et al.*, 2006), podrían disminuir su concentración y conducir así a una mayor estabilización del color de estos vinos.

De la misma forma, una modificación de la concentración y composición de proantocianidinas podría afectar drásticamente la astringencia y amargor de los vinos resultantes, ya que se ha observado que estos compuestos participan activamente en ambas sensaciones (Peleg *et al.*, 1999; Brossaud *et al.*, 2001; Mateus *et al.*, 2004; Obreque-Slier *et al.*, 2010b). Asimismo, es interesante señalar que durante la maduración de las bayas de *Vitis vinífera* L., el mDP de las proantocianidinas de pieles y semillas aumenta gradualmente (Kennedy *et al.*, 2001). También se ha observado que mayores temperaturas durante la maduración de la baya, podrían generar un sobre-aumento del mDP de las proantocianidinas. Esta aseveración sería avalada por los estudios de Cohen *et al.* (2008), quienes reportaron valores en el mDP de 25,8 en proantocianidinas de pieles de bayas cultivadas en ambientes fríos, mientras que en ambientes cálidos se alcanzaron valores de 27,2. De igual forma, una mayor concentración de ácido gálico o una mayor cantidad de proantocianidinas unidas a este compuesto se han asociado a las sensaciones de amargor y astringencia (Robichaud y Noble, citado por Hufnagel y Hofmann 2008), por lo que una disminución de este ácido benzoico, a causa de aumentos en la temperatura durante la temporada de crecimiento, conduciría hacia la producción de vinos con detrimentos de estas características organolépticas.

Tal como se indicó anteriormente, un aumento en la temperatura de ha asociado a una mayor cantidad de azúcares en la baya (Vierra, 2004; Duchêne y Schneider, 2005), lo cual unido a una menor síntesis y contenido de proantocianidinas y antocianos, conduciría hacia la producción de vinos con un alto grado alcohólico, menor coloración, y una baja en la astringencia y el amargor, repercutiendo negativamente sobre las características organolépticas de los vinos nacionales durante el presente siglo.

3.2 Efecto del agua

Según el INE y SAG (2009), en Chile los sistemas de manejo de agua para satisfacer los requerimientos hídricos de la vid son: bajo riego (77,8% de la superficie nacional), en secano (22% de la superficie nacional) y vegas (0,2% de la superficie nacional). Tal como se mencionó anteriormente, el recurso hídrico podría presentar una disminución hacia fines de siglo (IPCC, 2008). Así, las proyecciones en Chile indican que las regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule y del BioBío disminuirían sus precipitaciones en hasta un 75% (CONAMA, 2006).

A partir de ambos antecedentes, se prevé que existirían repercusiones sobre las tres técnicas de riego, ya que cambios en la precipitación no afectarían solo a los sistemas de secano o vega, sino que también traerían disminuciones en las fuentes de agua de embalses, afectando así al riego tecnificado, y por ende encarecería la producción vitivinícola (Carter, 2006).

Específicamente se ha proyectado que bajo el escenario A2, los cambios en la precipitación para fines de siglo podrían alcanzar hasta un 50% en algunas zonas de la Región de Coquimbo, como el Valle del Choapa (Figura 18) (CONAMA, 2006). Al mismo tiempo, en las regiones del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule y

del BioBío, se proyectan cambios aún más severos con disminuciones de precipitaciones de entre un 50 y 75% (CONAMA, 2006).

Tal como se expuso anteriormente, la disponibilidad del agua tiene repercusiones directas en la síntesis de compuestos fenólicos (Kennedy *et al.*, 2002). Se ha observado que disminuciones de entre un 37-57% en la disponibilidad de agua de riego conducirían hacia una mayor síntesis de antocianos (Castellarin *et al.* 2007a), lo que generaría aumentos en la coloración (Páez, 2002; Ortega-Farias *et al.*, 2004; Castellarin *et al.* 2007a; He *et al.* 2010). Asimismo, un estrés hídrico moderado podría provocar un aumento en el contenido de fenoles totales y proantocianidinas (Ortega-Farias *et al.*, 2004; Roby *et al.*, 2004;). Este último punto es de alta relevancia, ya que aunque bajo condiciones de estrés podría existir una mayor síntesis de proantocianidinas, el tamaño medio de polimerización podría verse modificado. Esta observación es fuertemente respaldada por Kennedy *et al.* (2002), quienes señalan que bajo condiciones de estrés hídrico, el mDP de las proantocianidinas de las pieles de bayas aumenta de 23,5 a 27,5 comparado con una irrigación normal. Esto, provocaría una consecuente modificación del peso molecular promedio y del grado de galoilación, lo que generaría un efecto sobre el amargor y astringencia de bayas y vinos. Estos mismos autores, señalan que un riego deficitario podría generar un aumento en el contenido de proantocianidinas unidas al ácido gálico, específicamente de epigallocatequina, lo que se ha asociado con modificaciones en el grado de amargor y astringencia percibido (Robichaud y Noble, citado por Hufnagel y Hofmann 2008).

Por otro lado, es importante señalar que una disminución severa en la disponibilidad de agua, como la que se proyecta para fines de siglo sobre Chile, podría incidir detrimentalmente en el desarrollo de la planta. Así, una condición hídrica deficitaria podría provocar el cierre de estomas y la consecuente disminución de la tasa fotosintética (Lambers *et al.*, 2008). De esta manera, se provocaría una disminución de los azúcares de la baya, tales como las hexosas, las cuales se han relacionado con la síntesis de compuestos fenólicos (Hidalgo, 2003), conduciendo así a una menor síntesis de estos metabolitos secundarios. De la misma manera, los cambios proyectados sobre la disponibilidad de agua, podrían traer consecuencias en la duración de las etapas fenológicas de la vid vinífera (Carter, 2006). Este fenómeno acarrearía consecuencias negativas para la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos, o en su defecto, la planta armonizaría sus procesos bajo la nueva duración de su ciclo fenológico (aclimatación) (Lambers *et al.*, 2008).

3.3 Efecto de la luz UV

Como se indicó anteriormente, la irradiación UV podría traer disminuciones en la fotosíntesis, concentración de aminoácidos del vino y en la disponibilidad de algunos nutrientes (Schultz, 2000), lo cual conduciría hacia un ineficiente desarrollo de la vid y a una menor síntesis de metabolitos primarios en la baya, como las hexosas, las cuales según Hidalgo (2003) son fundamentales para la síntesis de compuestos fenólicos, tales como flavonas, antocianos, proantocianidinas y flavonoles. Asimismo, la luz UV podría incidir directamente sobre la ruta de síntesis de los compuestos fenólicos (Gollop *et al.* (2002).

Por otra parte, se ha observado que para el año 2025, el ozono estratosférico volvería a su estado anterior a 1980 (IPCC y GETE, 2005), mientras que la irradiación UV se estabilizaría para mediados del siglo XXI, tardando 1 o 2 décadas más en las regiones polares (Mckenzie *et al.*, 2007). De esta manera, durante parte del siglo XXI las vides recibirían elevadas concentraciones de luz UV, lo que provocaría 2 posibles consecuencias. La primera, correspondería a una mayor estimulación de los promotores del gen DFR y a una mayor expresión del gen CHS (Gollop *et al.*, 2002), induciendo a una mayor síntesis de proantocianidinas y estimulación de toda la ruta de síntesis de los compuestos fenólicos (Figura 9). Secundariamente, la composición fenólica podría afectarse notoriamente a causa de una modificación en el funcionamiento de la fotosíntesis, relacionada con las altas concentraciones de irradiación UV. A pesar de que se ha observado que aumentos de la irradiación UV generaría un aumento en el contenido de compuestos fenólicos (Gollop *et al.*, 2002), estudios acerca del efecto sobre la composición de estos son escasos. Sin embargo, es posible prever que un aumento en la concentración produce consecuentemente una modificación en la composición de estos compuestos y por ende sobre las propiedades sensoriales de amargor y astringencia.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los antecedentes expuestos, hacia fines del siglo XXI el efecto del cambio climático provocaría un aumento de la temperatura media en todo el territorio nacional. Concretamente, desde la región de Coquimbo hasta la región del BioBío se producirían aumentos en la temperatura media de hasta 5°C, con respecto a la temperatura actual. Asimismo, bajo el escenario A2 se proyectan disminuciones en las precipitaciones entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía de hasta un 75% respecto al clima actual. Contrariamente, para el caso de la irradiación UV, no se proyectan cambios significativos hasta mediados de siglo.

Consecuentemente, las modificaciones antes mencionadas se relacionarían fuertemente con la síntesis y composición fenólica, lo que generaría cambios sobre algunas propiedades organolépticas, conduciendo generalmente, a detrimentos sobre el color, y modificaciones sobre el amargor y astringencia de las bayas de *Vitis vinifera* L. Es importante señalar que las potenciales modificaciones sensoriales debido al cambio climático serían fuertemente dependientes de la variedad de *Vitis vinifera* L., lo que podría generar efectos positivos y negativos o incluso no repercutir sobre la síntesis de compuestos fenólicos en bayas. Esto obligaría a realizar estudios acerca del impacto del cambio climático sobre cada cepa individual de vid vinífera.

Finalmente, las modificaciones en las variables de temperatura y precipitación, obligarían a la adaptación de la vitivinicultura chilena, que incluiría la prospección de nuevas zonas vitivinícolas que bajo un nuevo escenario climático, posean las aptitudes para la producción de bayas de *Vitis vinifera* L. con una concentración de polifenoles que permitan la producción de vinos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ageorges, A., L. Fernández, S. Violet, D. Merdinoglu, N. Terrier and C. Romieu. 2006. Four specific isogenes of the anthocyanin metabolic pathway are systematically co-expressed with the red colour of grape berries. *Plant Science* 170: 372–383.
- Ali, K., F. Maltese, Y.H. Choi and R. Verpoorte. 2010. Metabolic constituents of grapevine and grape-derived products. *Phytochemistry Reviews*. 9: 357–378.
- Alokam, S., Y. Li, C.C. Chinnappa and D.M. Reid. 2002. Photoregulation of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and chalcone synthase (CHS) in the accumulation of anthocyanin in alpine and prairie ecotypes of *Stellaria longipes* under varied R/FR. *Physiologia Plantarum* 116: 531–538.
- Arnell, N.W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 31–52.
- Azuma, A., S. Kobayashi, N. Goto-Yamamoto, M. Shiraishi, N. Mitani, H. Yakushiji. *et. al.* 2009. Color recovery in berries of grape (*Vitis vinifera* L.) ‘Benitaka’, a bud sport of ‘Italia’, is caused by a novel allele at the VvmybA1 locus. *Plant Science* 176: 470–478.
- Bakkalbasi, E., O. Yemis, D. Aslanova and N. Artık. 2005. Major flavan-3-ol composition and antioxidant activity of seeds from different grape cultivars grown in Turkey. *European Food Research Technology* 221: 792–797.
- Bavaresco, L. 2003. Role of viticultural factors on stilbene concentrations of grapes and wine. *Drugs Under Experimental and Clinical Research* 29: 181–187.
- Bergqvist, J., N. Dokoozlian and N. Ebisuda. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture* 52: 1–7.
- Bogs, J., A. Ebadi, D. McDavid and S.P. Robinson. 2006. Identification of the flavonoid hydroxylases from grapevine and their regulation during fruit development. *Plant Physiology* 140: 279–291.
- Boots, A., G.R.M.M.H. Haenen and A. Bast. 2008. Health effects of quercetin: from antioxidant to nutraceutical. *European Journal of Pharmacology* 585: 325–337.
- Boulton, R. 2001. The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: a critical review. *American Journal of Enology and Viticulture* 52: 67–87.

- Brossaud, F., V. Cheynier and A.C. Noble. 2001. Bitterness and astringency of grape and wine polyphenols. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 7: 33–39.
- Butler, L.G., D.G. Riedl, D.G. Lebryk and H.Y. Blytt. 1984. Interactions of proteins with sorghum tannin; mechanism, especificity and significance. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 61: 916–920.
- Caldwell, M.M., J.F. Bornman, C.L. Ballare, S.D. Flint and G. Kulandaivelu. 2007. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. *Photochemical and Photobiological Science* 6: 252–266.
- Caffarra, A. and E. Eccel. 2011. Projecting the impacts of climate change on the phenology of grapevine in a mountain area. *Australian journal of grape and wine research* 17: 52–61.
- Carter, S. 2006. The projected influence of climate change on the South African wine industry. Interim Report IR-06-043, International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria. 33 pp.
- Casas, M.C. y Alarcón, M. 1999. Características generales de la atmósfera. (cap. 1, pp.13-20). *En su: Metereología y Clima*. Barcelona, España: Ediciones UPC, 157p.
- Castellarin, S.D., A. Pfeiffer, P. Sivilotti, M. Degan, E. Peterlunger and G. Di Gaspero. 2007a. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant, Cell and Environment* 30: 1381–1399.
- Castellarin, S.D., M.A. Matthews, G. Di Gaspero and G.A. Gambetta. 2007b. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227: 101–112.
- Castillo-Muñoz, N., S. Gómez-Alonso, E. García-Romero, M.V. Gómez, A.H. Velders and I. Hermosín-Gutiérrez. 2009. Flavonol 3-*O*-glycosides series of *Vitis vinifera* cv. Petit Verdot red wine grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 209–219.
- Chen, Z., S. Grasby and K. Osadetz. 2004. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *Journal of Hydrology* 290: 43–62.
- Chen, J., P. Wen, W. Kong, Q. Pan, S. Wan and W. Huang. 2006. Changes and subcellular localizations of the enzymes involved in phenylpropanoid metabolism during grape berry development. *Journal of Plant Physiology* 163: 115–127.
- Cheynier, V., M., Moutounet and P. Sarni-Manchado. 2000. Los compuestos fenólicos. (cap. 4, pp.114-132). En: Flanzy, C. *Enología: fundamentos científicos y tecnológicos*. Madrid, España: AMV Ediciones. 783p.

Chow, V.T.; D.R. Maidment y L.W. Mays. 2000. Agua atmosférica: Vapor de agua. (cap. 3, pp. 57-58). *En su: Hidrología Aplicada*. Ed. M. Suárez; Trad. J. Saldarriaga. Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial Nomos, 584p.

Ciudad, C. 2000, ene.-feb. Vino y Salud. *Tierra Adentro*, No. 30. pp 22–24.

Cohen, S.D., J.M. Tarara and J.A. Kennedy. 2008. Assessing the impact of temperature on grape phenolic metabolism. *Analytica Chimica Acta* 621: 57–67.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente), Chile. 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. [Santiago, Chile]: Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 63p.

Cortell, J.M., M. Halbleib, A.V. Gallagher, T.L. Righetti and J.A. Kennedy. 2005. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 5798–5808.

Cosme, F., J.M. Ricardo-Da-Silva and O. Laureano. 2009. Tannin profiles of *Vitis vinifera* L. cv. red grapes growing in Lisbon and from their monovarietal wines. *Food Chemistry* 112: 197–204.

Crespo, I., M.V. García-Mediavilla, B. Gutiérrez, S. Sánchez-Campos, M.J. Tuñón and J. González-Gallego. 2008. A comparison of the effects of kaempferol and quercetin on cytokine-induced pro-inflammatory status of cultured human endothelial cells. *British Journal of Nutrition* 100: 968–976.

Dimitric, J.M., L.M. Ignjatovic, D.A. Markovic and J.M. Baranac. 2003. Antioxidative capabilities of some organic acids and their co-pigments with malvin part I. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 553: 169–175.

Dixon, R.A., D. Xie and S.B. Sharma. 2005. Proanthocyanidins – a final frontier in flavonoid research? *New Phytologist* 165: 9–28.

Downey, M.O., J.S. Harvey and S.P. Robinson. 2004. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 55–73.

Dröge, W. 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews* 82: 47–95.

Duchêne, E. and C. Schneider. 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*. 25: 93–99.

Fang, Y-Z., S. Yang and G. Wu. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 18: 872–879.

Fernández-Pachón, M.S., D. Villaño, M.C. García-Parrilla and A.M. Troncoso. 2004. Antioxidant activity of wines and relation with their polyphenolic composition. *Analytica Chimica Acta* 513: 113–118.

Ferreira, R., G. Sellés, R. Ruiz and I. Sellés. 2003. Efecto del estrés hídrico aplicado en distintos periodos de desarrollo de la vid cv. Chardonnay en la producción y calidad del vino. *Agricultura Técnica* 63: 277–286.

FIA (Fundación para la Innovación Agraria), Chile. 2010. Cambio climático en el sector silvoagropecuario de Chile. Chile: FIA. 126p.

Flanzy, C. 2000. Los compuestos fenólicos. (cap. 4, pp. 114-121). *En su: Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 783p.

Francia-Aricha, E.M., M.T. Guerra, J.C. Rivas-Gonzalo and C. Santos-Buelga. 1997. New anthocyanin pigments formed after condensation with flavanols. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 2262–2266.

García-Beneytez, E., E. Revilla and F. Cabello. 2002. Anthocyanin pattern of several red grape cultivars and wines made from them. *European Food Research and Technology* 215: 32–37.

Garrido, J. and F. Borges. 2011. Wine and grape polyphenols-a chemical perspective. *Food Research International* 44: 3134–3148.

Gagné, S., S. Lacampagne, O. Claisse and L. Géný. 2009. Leucoanthocyanidin reductase and anthocyanidin reductase gene expression and activity in flowers, young berries and skins of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet-Sauvignon during development. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 282–290.

Gagné, S., S. Cluzet, J-M. Mérillon and L. Géný. 2011. ABA initiates anthocyanin production in grape cell cultures. *Journal of Plant Growth Regulation* 30: 1–10.

Godin-Beekmann, S. 2010. Spatial observation of the ozone layer. *Comptes Rendus Geoscience* 342: 339–348.

Gollop, R., S. Even, V. Colova-Tsolova and A. Perl. 2002. Expression of the grape dihydroflavonol reductase gene and analysis of its promoter region. *Journal of Experimental Botany* 53: 1397–1409.

Goto-Yamamoto, N., G.H. Wana, K. Masaki and S. Kobayashi. 2002. Structure and transcription of three chalcone synthase genes of grapevine (*Vitis vinifera*). *Plant Science* 162: 867–872.

Gris, E.F., E.A. Ferreira, L.D. Falcão and M.T. Bordignon-Luiz. 2007. Caffeic acid copigmentation of anthocyanins from Cabernet Sauvignon grape extracts in model systems. *Food Chemistry* 100: 1289–1296.

Gu, L., M.A. Kelm, J.F. Hammerstone, G. Beecher, J. Holden, D. Haytowitz. *et. al.* 2003. Screening of foods containing proanthocyanidins and their structural characterization using LC–MS/MS and thiolytic degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 7513–7521.

Hagerman, A.E. 2002. Condensed tannin structural chemistry. (pp. 1-6). *En su: Tannin Chemistry*. [En línea]. Oxford, USA: Department of Chemistry and Biochemistry, Miami University. 116pp. Recuperado en: <<http://vcampus.uom.ac.mu/upload/public/2002925114541.pdf>>. Consultado el: 20 de noviembre de 2012.

Harbertson, J., J. Kennedy and D. Adams. 2002. Tannin in skins and seeds of Cabernet Sauvignon, Syrah, and Pinot Noir berries during ripening. *American Journal of Enology and Viticulture* 53: 54–59.

Harborne, J.B. and C.A. Williams. 2001. Anthocyanins and other flavonoids. *Natural Product Reports* 18: 310–333.

He, F., L. Mu, G-L. Yan, N-N. Liang, Q-H. Pan, J. Wang. *et. al.* 2010. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 15: 9057–9091.

Hidalgo, J. 2003. Morfología, maduración y composición del racimo: síntesis y evolución de los principales compuestos de la uva (cap. 3, pp. 162-201). *En su: Tratado de enología*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 2t., 1422p.

Horne, J., J. Hayes and H.T. Lawless. 2002. Turbidity as a measure of salivary protein reactions with astringent substances. *Chemical Senses* 27: 653–659.

Houghton, J. 1997. *Global warming: the complete briefing*. 2a. ed. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. 251p.

Hufnagel, J.C. and T. Hofmann. 2008. Orosensory-directed identification of astringent. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 56: 1376–1386.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas) y SAG (Servicio Agrícola y Ganadero), Chile. 2009, marzo. Catastro vitivinícola. (Informe anual 2007–2008), INE. [En línea]. Santiago, Chile: INE. 73p. Recuperado en: <http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/2009/catastro_viticola_2007_2008_completo.pdf> Consultado el 5 de octubre de 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Escenarios de emisiones: resumen para responsables políticas. (Informe especial del IPCC), IPCC. [En línea]. Ginebra, Suiza: IPCC. 20p. Recuperado en: <<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>>. Consultado el: 26 de noviembre de 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001a. Cambio climático 2001: informe de síntesis resumen para responsables de políticas (Informe de evaluación del IPCC: cambio climático 2001 N°3), IPCC. [En línea]. [s.l.]: IPCC. 38p. Recuperado en:

<http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spm-es.pdf>. Consultado el: 26 de noviembre de 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001b. Radiative Forcing of Climate Change: definition. (cap. 6, pp. 349). *En su*: Climate Change 2001: the scientific basis. (Informe de evaluación N°3), IPCC. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. [En línea]. 881p. Recuperado en: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/212.htm. Consultado el 26 de noviembre de 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002, abril. Cambio climático y biodiversidad. (Doc. téc. N°5), IPCC. [En línea]. [s.l.]: IPCC. 85p. Recuperado en: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>. Consultado el 26 de noviembre de 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y GETE (Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica). 2005. La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos (Resumen técnico). Ginebra, Suiza. 88p. [En línea]. Recuperado en: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spmts_sp.pdf. Consultado el 26 de noviembre de 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007. (Informe de síntesis), IPCC. Ginebra, Suiza: IPCC. 104p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2008, Junio. El cambio climático y el agua. (doc. téc. N°6), IPCC. Ginebra, Suiza: IPCC. 224p.

Jagetia, G.C. and T.K. Reddy. 2011. Alleviation of iron induced oxidative stress by the grape fruit flavanone naringin in vitro. *Chemico-Biological Interactions* 190: 121–128.

Jin, Z-M., J-J. He., H-Q. Bi, X-Y. Cui and C-Q. Duan. 2009. Phenolic compound profiles in berry skins from nine red wine grape cultivars in northwest china. *Molecules* 14: 4922–4935.

Jones, G.V., M.A. White, O.R. Cooper and K. Storchmann. 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic Change* 73: 319–343.

Jones, G.V. 2007. Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. XII Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia -Anais. In Whitman College Economics Department working paper (pp.1-7). Whitman College.

Kallithraka, S., D. Kim, A. Tsakiris, I. Paraskevopoulos and G. Soleas. 2011. Sensory assessment and chemical measurement of astringency of Greek wines: correlations with analytical polyphenolic composition. *Food Chemistry* 126: 1953–1958.

- Kang, J.W., J.H. Kim, K. Song, S.H. Kim, J-H. Yoon and K-S. Kim. 2010. Kaempferol and quercetin, components of *Ginkgo biloba* extract (EGb 761), induce caspase-3-dependent apoptosis in oral cavity cancer cells. *Phytotherapy Research* 24: S77–S82.
- Keller, M, S.Y. Rogiers and H.R. Schultz. 2003. Nitrogen and ultraviolet radiation modify grapevines' susceptibility to powdery mildew. *Vitis* 42: 87–94.
- Kennedy, J.A., M.A. Matthews and A.L. Waterhouse. 2000a. Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. *Phytochemistry* 55: 77–85.
- Kennedy, J.A., G.J. Troup, J.R. Pilbrow, D.R. Hutton, D. Hewitt, C.R. Hunter. *et. al.* 2000b. Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6: 244–254.
- Kennedy, J.A. and G.P. Jones. 2001. Analysis of proanthocyanidin cleavage products following acid-catalysis in the presence of excess phloroglucinol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 1740–1746.
- Kennedy, J.A., Y. Hayasaka, S. Vidal, E.J. Waters and G.P. Jones. 2001. Composition of grape skin proanthocyanidins at different stages of berry development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 5348–5355.
- Kennedy, J.A., M.A. Matthews and A.L. Waterhouse. 2002. Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *American Journal of Enology and Viticulture* 53: 268–274.
- Kobayashi, S., M. Ishimaru, K. Hiraoka and C. Honda. 2002. *Myb*-related genes of the Kyoho grape (*Vitis labruscana*) regulate anthocyanin biosynthesis. *Planta* 215: 924–933.
- Kobayashi, S. 2009. Regulation of anthocyanin biosynthesis in grapes. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 78: 387–393.
- Koponen, J.M., A.M. Happonen, P.H. Mattila and A.R. Törrönen. 2007. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 1612–1619.
- Koshita, Y., T. Asakura, H. Fukuda and Y. Tsuchida. 2007. Nighttime temperature treatment of fruit clusters of 'Aki Queen' grapes during maturation and its effect on the skin color and abscisic acid content. *Vitis* 46: 208–209.
- Košir, I.J., B. Lapornik, S. Andrenšek, A.G. Wondra, U. Vrhovšek and J. Kidri. 2004. Identification of anthocyanins in wines by liquid chromatography, liquid chromatography-mass spectrometry and nuclear magnetic resonance. *Analytica Chimica Acta* 513: 277–282.

Labarbe, B., V. Cheynier, F. Brossaud, J.M. Souquet and M. Moutounet. 1999. Quantitative fractionation of grape proanthocyanidins according to their degree of polymerization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 2719–2723.

Lacampagne, S., S. Gagné and L. Géný. 2010. Involvement of abscisic acid in controlling the proanthocyanidin biosynthesis pathway in grape skin: new elements regarding the regulation of tannin composition and leucoanthocyanidin reductase (LAR) and anthocyanidin reductase (ANR) activities and expression. *Journal of Plant Growth Regulation* 29: 81–90.

Lambers, H.; F. Stuart Chapin III and T.L. Pons. 2008. Assumptions and Approaches: Time scale of plant response to environment. (cap. 1, pp. 4-6). Photosynthesis, Respiration, and Long-Distance Transport (cap. 2, pp. 14-47). *En su: Plant Physiological Ecology*. 2a. ed. Crawley, Australia: The University of Western Australia. 604p.

Lee, Y.J., K.S. Suh, M.C. Choi, S. Chon, S. Oh, J.T. Woo. *et. al.* 2010. Kaempferol protects HIT-T15 pancreatic beta cells from 2-deoxy-D-ribose-induced oxidative damage. *Phytotherapy Research* 24: 419–423.

Marchant, R.A. 2010. Análisis de escenarios de cambio climático en las regiones productoras de vino en Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 54h.

Martens, S. and A. Mithöfer. 2005. Flavones and flavone synthases. *Phytochemistry* 66: 2399–2407.

Martens, M., A. Preus and U. Matern. 2010. Multifunctional flavonoid dioxygenases: flavonol and anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis thaliana* L. *Phytochemistry* 71: 1040–1049.

Mateus, N., R. Pinto, P. Ruão and V. de Freitas. 2004. Influence of the addition of grape seed procyanidins to Port wines in the resulting reactivity with human salivary proteins. *Food Chemistry* 84: 195–200.

McKenzie, R.L., P.J. Aucamp, A. F. Bais, L.O. Björn and M. Ilyas. 2007. Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochemical & Photobiological Sciences* 6: 218–231.

Mira de Orduña, R. 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International* 43: 1844–1855.

Molina, M.J. 1996. Polar Ozone Depletion (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*. 35: 1778–1785.

Monagas, M., C. Gómez-Cordovés, B. Bartolomé, O. Laureano and J.M. Ricardo Da Silva. 2003. Monomeric, oligomeric, and polymeric flavan-3-ol composition of wines

and grapes from *Vitis vinifera* L. cv. Graciano, Tempranillo, and Cabernet Sauvignon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6475–6481.

Monagas, M., B. Bartolomé and C. Gómez-Cordovés. 2005. Updated knowledge about the presence of phenolic compounds in wine. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry* 45: 85–118.

Monsalve, G. 1995. Hidrología: definición (cap. 1, pp. 21-22). *En su: Hidrología en la ingeniería*. Santa Fé, Colombia: Tercer Mundo Editores. 359p.

Mori, K., S. Sugaya and H. Gemma. 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Scientia Horticulturae* 105: 319–330.

Mori, K., N. Goto-Yamamoto, M. Kitayama and K. Hashizume. 2007. Effect of high temperature on anthocyanin composition and transcription of flavonoid hydroxylase genes in 'Pinot noir' grapes (*Vitis vinifera*). *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 82: 199–206.

NASA (National Aeronautics and Space Administration), Estados Unidos. 2012. Surface meteorology and solar energy. [En línea]. Recuperado en: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email>>. Consultado el 24 de Septiembre de 2012.

Nyman N.A. and J.T. Kumpulainen. 2001. Determination of anthocyanidins in berries and red wine by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4183–4187.

Obreque-Slier, E., A. Peña-Neira, R. López-Solís, F. Zamora-Marín, J.M. Ricardo-da Silva and O. Laureano. 2010a. Comparative study of the phenolic composition of seeds and skins from Carménère and Cabernet Sauvignon grape varieties (*Vitis vinifera* L.) during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 3591–3599.

Obreque-Slier, E., R. López-Solís, A. Peña-Neira and F. Zamora-Marín. 2010b. Tannin–protein interaction is more closely associated with astringency than tannin–protein precipitation: experience with two oenological tannins and a gelatin. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 2629–2636.

Ogilvie, A.E.J. and T. Jónsson. 2001. 'Little Ice Age' research: a perspective from Iceland. *Climatic Change* 48: 9–52.

Olszanecki, R., B. Bujak-Gizycka, J. Madej, M. Suski, P.P. Wolkow, J. Jawien. *et. al.* 2008. Kaempferol, but not resveratrol inhibits angiotensin converting enzyme. *Journal of Physiology and Pharmacology* 59: 387–392.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2003. Scientific assessment of ozone depletion: 2002 global ozone research and monitoring project–Rep. No. 47. [En línea]. Ginebra, Suiza: OMM. 498p. Recuperado en:

<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2002/ozone_2002.html>. Consultado el: 2 de Julio de 2012.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. 326p.

Ortega-Farias, S., M. Duarte, C. Acevedo, Y. Moreno and F. Córdova. 2004. Effect of four levels of water application on grape composition and midday stem water potential of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet sauvignon. *Acta Hortícola* 664: 491–497.

Páez, I.C. 2002. Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la calidad de los vinos. Tesis Magíster en Fruticultura. Santiago, Chile: Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. 35h.

Park, J-S., M-G. Choung, J-B. Kim, B-S. Hahn, J-B. Kim, S-C. Bae. *et. al.* 2007. Genes up-regulated during red coloration in UV-B irradiated lettuce leaves. *Plant Cell Reports* 26: 507–516.

Pastor del Rio, J.L. and J.A. Kennedy. 2006. Development of proanthocyanidins in *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir grapes and extraction into wine. *American Journal of Enology and Viticulture* 57: 125–132.

Peña-Neira, A. 2005, dic. En uvas tintas factores que regulan el color. *Vendimia*, 7(47): 12–14.

Peña-Neira, A., M. Dueñas, A. Duarte, T. Hernández, I. Estrella and E. Loyola. 2004. Effects of ripening stages and of plant vegetative vigor on the phenolic composition of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon in the Maipo Valley (Chile). *Vitis* 43: 51–57.

Peleg, H., K. Gacon, P. Schlich and A.C. Noble. 1999. Bitterness and astringency of flavan-3-ol monomers, dimers and trimers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79: 1123–1128.

Pérez-Magariño, S. and M.L. González San-José. 2004. Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 1181–1189.

Perez-Vizcaino, F., J. Duarte, R. Jimenez, C. Santos-Buelga and A. Osuna. 2009. Antihypertensive effects of the flavonoid quercetin. *Pharmacological Reports* 61: 67–75.

Peyrot des Gachons, C. and J. Kennedy. 2003. Direct method for determining seed and skin proanthocyanidin extraction into red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 5877–5881.

- Pietrini, F., M.A. Iannelli and A. Massacci. 2002. Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* 25: 1251–1259.
- Porter, L.J., L.N. Hrstich and B.G. Chan. 1986. The conversión of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry* 25: 223–230.
- Poudel, P.R., R. Mochioka, K. Beppu and I. Kataoka. 2009. Influence of Temperature on berry composition of interspecific hybrid wine grape 'Kadainou R-1' (*Vitis ficifolia* var. *ganebu* × *V. vinifera* 'Muscat of Alexandria'). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 78: 169–174.
- Retamal, A. y A. Meza. 1998. El cambio climático global y el efecto invernadero: el rol de los bosques como mitigadores de las emisiones de CO₂. Santiago, Chile: CONAF. 33p.
- Riou, V., A. Vernhet, T. Doco and M. Moutounet. 2002. Aggregation of grape seed tannin in a model wine-effect of wine polysaccharides. *Food Hydrocolloids* 16: 17–23.
- Roby, G., J. Harbertson, D. Adams and M. Matthews. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 100–107.
- Romero, I., M.T. Sanchez-Ballesta, R. Maldonado, M.I. Escribano and C. Merodio. 2008. Anthocyanin, antioxidant activity and stress-induced gene expression in high CO₂-treated table grapes stored at low temperature. *Journal of Plant Physiology* 165: 522–530.
- Sandhu, A.K., D.J. Gray, J. Lu and L. Gu. 2011. Effects of exogenous abscisic acid on antioxidant capacities, anthocyanins, and flavonol contents of muscadine grape (*Vitis rotundifolia*) skins. *Food Chemistry* 126: 982–988.
- Schneeberger, C., H. Blatter, A. Abe-Ouchi and M. Wild. 2003. Modelling changes in the mass balance of glaciers of the Northern hemisphere for a transient 2 x CO₂ scenario. *Journal of Hydrology* 282: 145–163.
- Schultz, H.R. 2000. Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6: 2–12.
- Schwarz, M., T.C. Wabnitz and P. Winterhalter. 2003. Pathway leading to the formation of anthocyanin-vinylphenol adducts and related pigments in red wines. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 51: 3682–3687.
- Sgarbi, E., R.B. Fornasiero, A.P. Lins and P.M. Bonatti. 2003. Phenol metabolism is differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf. *Plant Science* 165: 951–957.

Sioumis, N., S. Kallithraka, D.P. Makris and P. Kefalas. 2006. Kinetics of browning onset in white wines: influence of principal redox-active polyphenols and impact on the reducing capacity. *Food Chemistry* 94: 98–104.

SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental), Chile. 2012. Capa de Ozono. [En línea]. Santiago, Chile: SINIA. Recuperado en: <<http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-15483.html>>. Consultado el: 6 de julio de 2012.

Stintzing, F.C. and R. Carle. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology* 15: 19–38.

Solecka, D. and A. Kacperska. 2003. Phenylpropanoid deficiency affects the course of plant acclimation to cold. *Physiologia Plantarum* 119: 253–262.

Souquet, J.M., B. Labarbe, C. Le Guernevé, V. Cheynier and M. Moutounet. 2000. Phenolic composition of grape stems. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 48: 1076–1080.

Stern, N. 2007. *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. 662p.

Sun, B.S., T. Pinto, M.C. Leandro, J.M. Ricardo da Silva and M.I. Spranger. 1999. Transfer of catechins and proanthocyanidins from solid parts of the grape cluster into wine. *American Journal of Enology and Viticulture* 50: 179–184.

Svensmark, H. 2007. *Cosmoclimatology*. A&G. 48: 1.18–1.24.

Tate, A.B. 2001. Global warming's impact on wine. *Journal of Wine Research* 12: 95–109.

Terra, X., J. Valls, X. Vitrac, J-M. Mérrillon, L. Arola, A. Ardèvol. *et. al.* 2007. Grapeseed procyanidins act as antiinflammatory agents in endotoxin-stimulated RAW 264.7 macrophages by inhibiting NFκB signaling pathway. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 4357–4365.

Treutter, D. 2005. Significance of flavonoids in plant resistance: a review. *Plant Biology* 7: 581–591.

Treutter, D. 2010. Managing phenol contents in crop plants by phytochemical farming and breeding—visions and constraints. *International Journal of Molecular Sciences* 11: 807–857.

Veluri, R., R.P. Singh, Z. Liu, J.A. Thompson, R. Agarwal and C. Agarwal. 2006. Fractionation of grape seed extract and identification of gallic acid as one of the major active constitution causing growth inhibition and apoptotic death of DU145 human prostate carcinoma cells. *Carcinogenesis* 27: 1445–1453.

Vidal, S., L. Francis, S. Guyot, N. Marnet, M. Kwiatkowski, R. Gawel. *et. al.* 2003. The mouth-feel properties of grape and apple proanthocyanidins in a wine-like medium. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 564–573.

Vierra, G. 2004. Pretenders at the Table – Are table wines no longer food friendly? *Wine Business Monthly* 11 (7).

Vuille, M., B. Francou, P. Wagnon, I. Juen, G. Kaser, B.G. Mark. *et. al.* 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: past, present and future. *Earth-Science Reviews* 89: 79–96.

Webb, L.B., P.H. Whetton and E.W.R. Barlow. 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 13: 165–175.

World Commission on Dams. 2000. *Dams and development: a new framework for decision-making*. London, UK: Earthscan. 404 pp.

Wu, Q., M. Wang and J.E. Simon. 2005. Determination of proanthocyanidins in fresh grapes and grape products using liquid chromatography with mass spectrometric detection. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19: 2062–2068.

Xie, D. and R.A. Dixon. 2005. Proanthocyanidin biosynthesis – still more questions than answers? In *Phytochemistry* 66: 2127–2144.

Yamane, T., S.T. Jeong, N. Goto-Yamamoto, Y. Koshita and S. Kobayashi. 2006. Effects of temperature on anthocyanin biosynthesis in grape berry skins. *American Journal of Enology and Viticulture* 57: 54–59.

Yokotsuka, K., A. Nagao, K. Nakazawa and M. Sato. 1999. Changes in anthocyanins in berry skins of Merlot and Cabernet Sauvignon grapes grown in two soils modified with limestone or oyster shell versus a native soil over two years. *American Journal of Enology and Viticulture* 50: 1–12.

Zamora, F. 2003. El color del vino tinto (cap. 1, pp. 13-25). *En su: Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 224 p.