



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Investigaciones Oceanológicas

Facultad de Ciencias Marinas

**EFFECTO DEL CLIMA SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA
UVA PARA VINO EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
PRESENTA

Víctor Alfonso Macías Carranza

Ensenada, Baja California, 27 de enero de 2022.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Investigaciones Oceanológicas

Facultad de Ciencias Marinas

**EFFECTO DEL CLIMA SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA
UVA PARA VINO EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
PRESENTA

Víctor Alfonso Macías Carranza



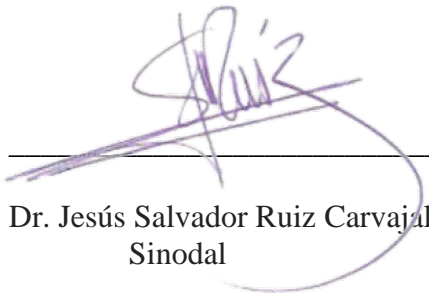
Dr. Alejandro Cabello Pasini
Director



Dra. Mariana Villada Canela
Sinodal



Dr. Rafael Bello Bedoy
Sinodal



Dr. Jesús Salvador Ruiz Carvajal
Sinodal



Dra. Ramona Pérez Leal
Sinodal

RESUMEN

El estudio de las variables meteorológicas, ha sido una herramienta muy importante para la caracterización de la cosecha y es un factor que permite definir la calidad de la uva en cada temporada. La variabilidad del clima a diferentes escalas (meso escala y micro escala) juega un papel muy importante en el desarrollo y maduración de la uva. Las características climáticas en cada región, permiten determinar la aptitud para el cultivo de la vid y determinar qué variedades son las mejores para cultivarse. Los índices bioclimáticos, incluyendo la evapotranspiración, se han utilizado de manera conjunta para caracterizar el clima en una región y correlacionar su influencia en los procesos fisiológicos de la vid y en la calidad del fruto y del vino, así como definir y caracterizar zonas de cultivo. La relación que existe entre los índices bioclimáticos de GDD y HI fue significativamente alta, indicando que estos dos índices capturan la misma información climática. Usando los GDD se clasificaron los valles de SAM y SV como región IV (Templado-cálido) mientras que VG y ST se catalogaron como región V (zonas cálidas y muy cálidas). La acumulación de grados días varió significativamente entre los diferentes valles vitivinícolas estudiados. Se evaluaron las variables climáticas utilizando estaciones meteorológicas, y se midió la concentración de sólidos solubles, acidez total, pH, YAN en el mosto de uvas y la concentración de polifenoles totales en la pulpa y la semilla de Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Syrah, Tempranillo y Grenache. La tasa de incorporación de SST fue más rápida en localidades menos cálidas (SAM y SV), mientras que las tasas de acumulación de SST más lenta, se observó en las localidades más cálidas (ST y VG). La acidez total del mosto varió significativamente en todas las variedades de uva de todos los valles estudiados. Sin embargo, las características climáticas de cada región tienen un efecto similar sobre la concentración de AT (síntesis y degradación de ácido málico). La mayor concentración de polifenoles

totales y de flavan-3-oles, se presentó en Cabernet sauvignon y Merlot, mientras que la menor concentración se presentó en Nebbiolo y Tempranillo. La relación entre las características fisicoquímicas y el color de la semilla está fuertemente influenciada por el clima de la región de cultivo y pueden ser usados en conjunto para determinar la madurez de la uva y el tiempo de la cosecha. Por lo anterior, este trabajo cobra gran importancia al ser el primero en conjugar la clasificación y caracterización climática con las características fisicoquímicas de las uvas en las regiones vitícolas de Baja California, México. Siendo esto, una herramienta útil para el manejo agronómico y enológico, ya que permite una selección más eficaz de emplazamientos para nuevos viñedos y ayuda a mejorar la gestión de los viñedos ya establecidos.

ABSTRACT

The study of meteorological variables has been a very important tool for characterizing the harvest and is a factor that allows defining the quality of the grape in each season. The variability of the climate at different scales (mesoscale and microscale) plays a very important role in the development and maturation of the grape. The climatic characteristics in each region, allow to determine the aptitude for the cultivation of the vine and determine which varieties are the best to be cultivated. Bioclimatic indices, including evapotranspiration, have been used together to characterize the climate in a region and correlate its influence on the physiological processes of the vine and the quality of the fruit and wine, as well as characterizing and defining growing areas. The relationship between the bioclimatic indices of GDD and HI was significantly high, indicating that these two indices capture the same climatic information. Using the GDD, the SAM and SV valleys were classified as region IV (Temperate-warm) while VG and ST were classified as region V (warm and very warm zones). The accumulation of degree days varied significantly between the different wine valleys studied. The climatic variables were evaluated using meteorological stations, and the concentration of soluble solids, total acidity, pH, YAN in the grape must and the concentration of total polyphenols in the pulp and seed of Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo and Grenache were measured. The SST incorporation rate was faster in less warm localities (SAM and SV), while the slower SST accumulation rates were observed in warmer localities (ST and VG). The total acidity of the must vary significantly in all the grape varieties of all the valleys studied. However, the climatic characteristics of each region have a similar effect on the concentration of AT (synthesis and degradation of malic acid). The highest concentration of total polyphenols and

flavan-3-ols was found in Cabernet sauvignon and Merlot, while the lowest concentration was found in Nebbiolo and Tempranillo. The relationship between the physicochemical characteristics and the color of the seed is strongly influenced by the climate of the growing region and they can be used together to determine the maturity of the grape and the time of harvest. For the above, this work takes great importance on being the first to combine climate classification and characterization with the physicochemical characteristics of the grapes in winegrowing regions of Baja California, Mexico. This being a useful tool for agronomic and oenological management, since it allows a more efficient selection of sites for new vineyards and helps to improve the management of already established.

DEDICATORIA

Para todas aquellas personas que aún se encuentran con nosotros y podemos disfrutar de su compañía, comprensión y cariño. Y también para todas aquellas que ya no están con nosotros y sin embargo sentimos su compañía en nuestros corazones.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California por ser la institución impulsora en mi formación profesional.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y a la Facultad de Ciencias Marinas por darme siempre la oportunidad para desarrollarme profesionalmente.

A mi director, Dr. Alejandro Cabello Pasini, por su valioso apoyo desde el inicio del doctorado, dedicación e invaluable aportaciones a lo largo de mi vida profesional.

A mis sinodales; Dra. Mariana Villada Canela, Dr. Rafael Bello Bedoy, Dr. Jesús Salvador Ruiz Carvajal y Dra. Ramona Pérez Leal, por su apoyo y sus aportaciones para la realización de esta tesis.

Al personal académico del posgrado y al personal administrativo del IIO, así como a todos mis amigos y colegas por su apoyo.

Tabla de Contenido

I RESUMEN	II
II ABSTRACT.....	IV
III DEDICATORIA.....	VI
IV AGRADECIMIENTOS.....	VII
V Lista de Tablas.....	X
VI Lista de Figuras.....	XI
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Introducción General.....	1
1.2 Antecedentes.....	5
1.2.1 Geología	
1.2.2 Geografía	
1.2.3 Maduración de la uva	
1.2.4 Temperatura	
1.2.5 Precipitación	
1.2.6 Polifenoles	
1.3 Área de estudio.....	16
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General	
1.4.2 Objetivos específicos	
Capítulo 2. Climatología y evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California	
2.1 Resumen	19
2.2 Abstract	20
2.3 Introducció	21
2.4 Materiales y Métodos.....	23
2.4.1 Área de estudio	
2.4.2 Análisis de suelo	
2.4.3 Datos climatológicos	
2.4.4 Análisis estadístico	
2.5 Resultados y discusión	26
2.6 Conclusiones	35
2.7 Literatura citada	37
Capítulo 3. Efecto de las Variables Meteorológicas Sobre las Características Fisicoquímicas de la uva para Vino en Baja California	52
3.1 Resumen	52
3.2 Introducción	53
3.3 Materiales y Métodos	55
3.3.1 Área de estudio	
3.3.2 Datos climatológicos	
3.3.3 Análisis de las bayas	
3.3.4 Análisis estadístico	
3.4 Resultados y Discusión.....	58

3.5 Literatura Citada.....	87
Capítulo 4. Efecto del Mesoclima en la Maduración de la Uva Nebbiolo (<i>Vitis vinifera</i>) en el Valle de Guadalupe, Baja California, México.	
4.1 Resumen	100
4.2 Introducción	101
4.3 Materiales y Métodos	104
4.4.1 Área de estudio	
4.4.2 Datos climatológicos	
4.4.3 Cultivo de la vid	
4.4.4 Análisis químicos	
4.5 Resultados y Discusión	106
4.6 Conclusiones	115
4.7 Literatura Citada	116
Capítulo 5. Maduración polifenólica de semillas de uva para vino de Baja California.	
5.1 Resumen	131
5.2 Introducción	132
5.3 Materiales y Métodos.....	134
5.3.1 Área de estudio	
5.3.2 Color de la semilla	
5.3.3 Análisis químicos	
5.3.4 Extracción de polifenoles	
5.3.5 Datos climatológicos	
5.4 Resultados	138
5.5 Discusiones	141
5.6 Literatura Citada.....	147
Capítulo 6.	
6.1 Conclusiones y Relevancia	162

Lista de Tablas

2.1.	Características fisicoquímicas de muestras de suelo de Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST). Se determinó la saturación de agua, conductividad, pH, concentración de calcio, magnesio, sodio, carbonatos, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos totales, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable y materia orgánica.....	43
3.1.	Índices bioclimáticos: Grados día (GDD), Índice de Huling (HI), índice de grados biológicamente efectivos (BEDD) y el índice de temperatura promedio de crecimiento por temporada (GST), calculados para cada una de las temporadas (2014-2018).....	61
3.1S.	Análisis de Varianza de los Grados día (GDD), Índice de Huling (HI), índice de grados biológicamente efectivos (BEDD) y el índice de temperatura promedio de crecimiento por temporada (GST), calculados para cada una de las temporadas de cosecha.	95
3.2S.	Análisis de Varianza de los Grados día (GDD) para el inicio del envero y maduración a 20°C de las variedades de uva de San Antonio de las Minas y Santo Tomás.....	96
3.3S.	Análisis de Varianza de los Días Julianos para el inicio del envero y maduración a 20°C de las variedades de uva de San Antonio de las Minas y Santo Tomás.....	97
3.4S.	Análisis de Varianza de los Días Julianos (DJ) y Grados día (GDD) para el inicio del envero, maduración a 20°C, y días de maduración entre el inicio del envero y la maduración a 20°C de la uva Nebbiolo en Santo Tomás, Valle de Guadalupe, San Vicente y San Antonio de las Minas.....	98
3.5S.	Análisis de Varianza de los Días Julianos (DJ) y Grados día (GDD) para el inicio del envero, maduración a 20°C, y días de maduración entre el inicio del envero y la maduración a 20°C de la uva Tempranillo en Santo Tomás, Valle de Guadalupe, San Vicente y San Antonio de las Minas.....	99
5.1.	Localización y concentración de los compuestos fenólicos durante las diferentes etapas fenológicas de la uva.....	151
5.2.	Correlación entre el color de la semilla, las variables fisicoquímicas y los GDD para las variedades de uva Nebbiolo, Cabernet sauvignon, Syrah y Tempranillo durante 2014 y 2015 en SAM y VG.....	152
5.3.	Correlación entre el color de la semilla, las variables fisicoquímicas y los GDD para Nebbiolo y Cabernet sauvignon, entre SAM y VG.....	153

Lista de Figuras

1.1	Localización de los viñedos y estaciones meteorológicas en Guadalupe y San Antonio de las Minas, en el Valle de Guadalupe, Baja California, México.....	17
2.1.	Series de tiempo para la temperatura promedio diaria en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	44
2.2.	Radiación fotosintéticamente activa (PAR) diaria en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	45
2.3.	Precipitación pluvial diaria en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	46
2.4.	Promedio diario de humedad relativa en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	47
2.5.	Dirección y velocidad ($m s^{-1}$) del viento en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	48
2.6.	Rosas de viento, frecuencia (%) y velocidad ($m s^{-1}$) para San Antonio de las Minas y el Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	49
2.7.	Gráficas de isolíneas para los grados día de crecimiento (GDD) e índice de Huglin para el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST), durante 2018.....	50
2.8.	Evapotranspiración ($mm d^{-1}$) para San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.....	51
3.1.	Localización de los valles vitivinícolas de San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, Santo Tomás y San Vicente, Baja California, México.....	56
3.2.	Relación de los SST vs. pH, AT, y YAN, y AT vs. pH en uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Tempranillo, Syrah y Grenache de los cuatro valles estudiados.....	59
3.3.	Relación de acumulación de calor de los índices HI y GDD para San Antonio de las Minas (SAM), Santo Tomás (ST), San Vicente (SV) y Valle de Guadalupe (VG) durante 2017. En el eje derecho se muestran las categorías de los índices.....	62
3.4.	Relación de los sólidos solubles totales vs. acidez total, pH y nitrógeno asimilable por levaduras; y relación de acidez total vs. pH para todas las uvas de todos los valles estudiados.....	64
3.5.	Relación de SST vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	66
3.6.	Grados día para el inicio de la maduración en uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.....	68

3.7.	Día Juliano para el inicio de la maduración en uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.....	69
3.8.	Día Juliano (barras negras) y Grados Día (barras grises) para el inicio de la maduración, La maduración hasta los 20 °Bx y el periodo de maduración desde el inicio del envero hasta la maduración a 20 °Bx en uvas Tempranillo en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.....	70
3.9.	Día Juliano (barras negras) y Grados Día (barras grises) para el inicio de la maduración, la maduración hasta los 20 °Bx y el periodo de maduración desde el inicio del envero hasta la maduración a 20 °Bx en uvas Nebbiolo en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.....	72
3.10.	Relación de AT vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	74
3.11.	Relación entre la AT vs SST para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	75
3.12.	Relación de pH vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	77
3.13.	Relación entre el pH y los SST para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	78
3.14.	Perfiles de YAN vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	81
3.15.	Relación entre la concentración de sólidos solubles totales (SST) vs nitrógeno asimilable por levaduras (YAN) para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.....	82
4.1.	Localización de los viñedos y estaciones meteorológicas en Guadalupe y San Antonio de las Minas, en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Curvas de nivel indican la altura topográfica en metros.....	122
4.2.	Concentración de sólidos solubles, acidez titulable y pH de uvas <i>Nebbiolo</i> a lo largo del periodo de maduración en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	123
4.3.	Radiación fotosintéticamente activa ($\text{mol quanta m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	124
4.4.	Temperatura promedio diaria del aire en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	125
4.5.	Temperatura máxima y mínima diaria en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	126

4.6.	Amplitud del intervalo de temperaturas diarias en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	127
4.7.	Humedad relativa promedio diaria en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	128
4.8.	Precipitación pluvial mensual en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México, y correlación de la precipitación pluvial mensual en ambas zonas de estudio.....	129
4.9.	Frecuencia de la velocidad ($m s^{-1}$) y dirección del viento durante julio, agosto y septiembre en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.....	130
5.1.	Localización del área de estudio: a) Estado de Baja California, México, b) Localidades en el municipio de Ensenada, B.C., México. Al norte, el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM) y al sur, San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST).....	154
5.2.	Correlación, entre las variables fisicoquímicas y el color de la semilla (rojo), durante el periodo de maduración de la uva.....	155
5.3.	Relación entre las variables fisicoquímicas y el color de la semilla, durante el periodo de maduración de la uva Cabernet sauvignon y Nebbiolo durante 2014 y 2015.....	156
5.4.	Relación entre las variables fisicoquímicas y el color de la semilla, durante el periodo de maduración de la uva Syrah y Tempranillo durante 2014 y 2015 en SAM.....	157
5.5.	Escala del color de la semilla para: A) Nebbiolo, Cabernet y Syrah y B) Tempranillo durante el tiempo de maduración de la uva y su relación con los GDD.....	158
5.6.	Concentración de polifenoles extraídos de la semilla, piel y de la semilla y piel durante la fermentación.....	159
5.7.	Concentración de los polifenoles totales, ácido gálico, catequina y epicatequina en semillas de Tempranillo, Cabernet sauvignon, Merlot y Nebbiolo, durante tres semanas previo a la cosecha.....	160
5.8.	Concentración de los polifenoles totales, ácido gálico, catequina y epicatequina en semillas de las diferentes variedades de uva, durante la extracción en una simulación del proceso de fermentación.....	161

Capítulo 1. Introducción

Introducción General

La vid está situada en la clase Magnoliopsida, en el orden Vitales, de la familia Vitaceae, y género *Vitis* (Cronquist 1981). Esta planta es un arbusto que se caracteriza por ser trepador, con un tronco no uniforme de donde se desprenden sarmientos largos y flexibles. En general, sus hojas están divididas en cinco lóbulos, con flores pequeñas que se agrupan en racimos y su fruto es una baya que, según la variedad, presenta diferentes tamaños.

El género *Vitis* es muy diverso y se encuentra dominado predominantemente por especies del hemisferio norte (Winkler *et al.* 1974, Hidalgo 1999). En la actualidad se reconocen aproximadamente 65 especies, separadas en dos grandes grupos. El subgénero *Muscadinia*, está representado por dos especies, *V. popenoei* J.H. Fennel de México and *V. rotundifolia* Michx. del sureste de los Estado Unidos y del Caribe (Wen 2007). La taxa del subgénero *Muscadinia* tiene 40 cromosomas, zarcillos simples, frutos largos y semillas con pliegues ventrales más largos que el resto de las especies de *Vitis*. El grupo (Euvides), incluye prácticamente todas las especies de América, Asia y Europa, incluyendo la vid europea, *Vitis vinifera*. A diferencia del subgénero *Muscadinia*, el subgénero *Vitis*, tiene 38 cromosomas y zarcillos simples y bifurcados (Wen 2007, Moore & Wen 2016). Dentro de este subgénero, encontramos 57 especies divididas en 11 series de las cuales destacan *V. candicans*, *V. labrusca*, *V. riparia* y *V. rupestris*, *V. cordifolia* y *V. monticola* por tener cierta resistencia a la filoxera y para ser usada como portainjertos. Por último y la más importante, *V. vinifera*, una especie cultivable que produce uvas vinificables.

El origen de la uva comercial *Vitis vinifera* L. incluye a *V. vinifera* ssp. *Silvestris* (vides silvestres), que se encontraba distribuida desde el oeste de Asia hasta el centro y sur de Europa.), y *V. vinifera* ssp. *Vinífera* (vides cultivadas), las cuales fueron domesticadas de las silvestres (Mallikarjuna *et al.* 2003). En Europa entre el Mar Negro y el Mar Caspio, se tienen los primeros indicios de actividad vinícola, aproximadamente 4,500 años A.C. La distribución del cultivo de vid se extendió al resto del mundo como parte de la migración humana. Particularmente, los conquistadores españoles introdujeron el cultivo en el continente Americano por México y Perú, y de aquí, extendiéndose al resto del continente (Hidalgo 1999).

En la actualidad, la Organización Internacional de la Viña y el Vino (2014) contempla que el cultivo de uva es de aproximadamente 7,599 millones de hectáreas distribuidas en los cinco continentes, de las cuales Europa genera casi el 50 % de la producción. El cultivo de la vid ocupa el quinto lugar por superficie cultivada en el mundo (FAO 2011). Sin embargo, las características climáticas específicas para el desarrollo de la vid, limitan su cultivo en zonas con rangos climáticos estrechos (Jones 2006). A pesar de estos límites, las diferentes regiones vitivinícolas tienen características climáticas muy específicas (Gladstones 1992), permitiendo que exista una gran variedad en las características de la uva, y como consecuencia, en la calidad y el estilo de los vinos (Jones y Davis 2000).

En México, la superficie de viñedos es de aproximadamente 33,691 hectáreas (Sagarpa 2018). En los últimos 10 años, la tasa media de crecimiento anual ha sido del 20.2 %, aumentado fuertemente desde el 2015. La producción de uva en el país, se distribuye con un 66 % para la producción de fruta (22 mil ha.), para la producción de vinos, jugos y concentrados el 23 %, mientras que el 11 % restante se usa para la producción de pasas (SIAP

2017). Sin embargo, en México solo hay 3,498 ha dedicadas al cultivo de uva para la producción de vino y de éstas, en Baja California se encuentra el 85 %.

Países con una larga historia en la producción de vinos, como los viñedos de la región de Europa, se encuentran divididos por las características vitivinícolas determinadas, que se agrupan para diferenciarse en la elaboración de sus productos en donde existen regiones con denominación de origen (D.O.) e indicación geográfica (I.G.). Para establecer una DO de vinos se debe establecer legalmente, la delimitación geográfica, variedades de uvas, normas de cultivo y recolección de uva, vinificación, crianza y requisitos de comercialización entre otros. Por ejemplo, España cuenta con 148 denominaciones registradas de vinos (Magrama 2014). Sin embargo, en México, solo se cuenta con la distinción de la producción de uva para vinificación en los estados del país donde se cultiva. En el año 2002 se tenían registro solo de cinco estados productores de uva para vinificación (Baja California, Sonora, Coahuila, Querétaro y Aguascalientes), mientras que datos del 2017 revelan que se han sumado a la lista seis estados más en la producción de uva para la producción de vino, siendo Baja California el que concentra más del 75 % en la producción de vino, seguido por Coahuila, Querétaro, Chihuahua, Guanajuato, Aguascalientes y Zacatecas (SIAP 2017).

El cultivo de la vid está regulado por las variaciones del clima y las condiciones del medio ambiente. Estas variables climáticas, asociadas con la hidrología, la topografía, y la distancia con relación al océano, controlan las características de crecimiento de las vides dentro de las regiones vitivinícolas (Holden y Brereton 2004, Pereira *et al.* 2007, JamšekRupnik 2016, Malheiro *et al.* 2013). Al igual que en el resto del mundo, los viñedos de México están impactados por condiciones climáticas muy diversas que inciden en su composición química y su calidad. De igual manera, los valles vitivinícolas de Baja

California cuentan con condiciones climáticas asociadas a su cercanía con el mar, la topografía y su altitud con respecto al nivel medio del mar. Desafortunadamente, existen pocos estudios que documenten las diferencias climáticas entre estos valles vitivinícolas y su impacto sobre la maduración de las uvas utilizadas para producir vino de mesa.

Baja California es la única región en México que tiene clima mediterráneo, ideal para la producción de uva (Cavazos *et al.* 2012). En el municipio de Ensenada, Baja California, se localizan cinco valles donde se desarrolla el 90 % de la actividad agrícola mexicana dedicada al cultivo de uva para producción de vino (SEFOA 2011). El Valle de Guadalupe, localizado en el municipio de Ensenada, B.C., México, inicia a 10 km de la costa y se adentra aproximadamente 20 km. Algunas zonas de este valle están expuestas a neblinas y brisas marinas constantes que podrían tener un efecto significativo sobre la fisiología de la vid, así como de la maduración de las uvas y de las semillas (Nemani *et al.* 2001, Bonnardot *et al.* 2002). Establecer la asociación de los procesos meteorológicos locales con el desarrollo en la maduración, ayudará a caracterizar tanto al lugar de cultivo como la calidad final de la uva (Nesbitt *et al.* 2016, Moral *et al.* 2014, Lecocq y Visser 2006).

No obstante que la región de Baja California es la principal zona vitivinícola de México, existen pocos reportes publicados sobre el efecto de los cambios en las variables meteorológicas, y cómo estas afectan la maduración de las uvas. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de las variables meteorológicas sobre los ciclos de maduración de la uva en los diferentes valles vinícolas de Baja California, con el fin de establecer y definir patrones que puedan caracterizar a las diferentes zonas de cultivo.

Antecedentes

Geología

El Estado de Baja California está constituido por diversos ecosistemas las Sierras de Baja California, las cordilleras de la Sierra Juárez y de San Pedro Mártir, el Desierto de San Sebastián Vizcaíno, la Sierra de la Giganta. De la gran variedad de rocas que componen el ecosistema, sobresalen las de tipo ígneo intrusivo y las de origen volcánico, extendiéndose ampliamente por toda la región. Las sedimentarias siguen en orden de importancia y son fáciles de distinguir por su origen y cuyos afloramientos se encuentran en el oeste del estado. En menor presencia se encuentran las rocas metamórficas, asociadas a rocas graníticas de las cuales provienen.

La distribución general de las rocas en la península se agrupa de la siguiente forma: Esquistos y rocas metamórficas asociadas con granitos, afloran en el 57.6% de la superficie de la sierra Peninsular y en el 43.6% de la superficie total de la península. Andesitas, riolitas y basaltos, las cuales se encuentran en la parte central de la sierra Peninsular, ocupan el 42.4% de superficie. Rocas sedimentarias continentales y marinas (arena, areniscas y arcillas), se distribuyen en la planicie costera del Pacífico, ocupando el 25.2% del área peninsular (INEGI 1984).

Geografía

La región norte de Baja California se caracteriza por tener clima mediterráneo propicio para el cultivo de uva y la producción de vino. Estas áreas con clima mediterráneo a nivel mundial, están localizadas entre los 30° y 50° de latitud norte y los 30° y 40° latitud sur sobre las costas al oeste de los continentes (Spellman 1999). Comúnmente, estas zonas se

encuentran cercanas a la costa, pero separadas por montañas que corren paralelas a la costa, extendiéndose pocos kilómetros dentro del continente (Cavazos *et al.* 2012). La cercanía al Océano, promueve la presencia de vientos frescos y húmedos que viajan del mar hacia los valles y proveen de agua a los cultivos (Minninch *et al.* 2000). En esta región los veranos cálidos y secos son propicios para el desarrollo de la uva, mientras que en el invierno la entrada de frentes fríos que generan lluvias, recargan los mantos acuíferos para la siguiente temporada de riego (González Andrade 2015).

A escalas más pequeñas (< 20 km), el clima en los valles está regulado por diferentes factores, como lo son: la topografía, la orientación de la costa, la elevación y el tipo de suelo. La geología determina la topografía del área a escalas regionales como locales y su interacción con la hidrología modifica los factores climáticos (Maltman 2008). Estas diferencias climáticas, aun en pequeñas escalas, pueden tener un impacto significativo sobre la composición química de las uvas. Mateus *et al.* (2001), demostró que en vides cultivadas a baja altitud (150 m) con temperaturas máximas de 38 °C y humedad promedio del 20 %, se activa la inhibición de la biosíntesis de antocianinas. Por el contrario, en las vides cultivadas a alturas de 350 m o mayores que presentaron temperaturas máximas de 33 °C y hasta 45 % de humedad, la concentración de antocianinas aumentó en un 100 %. Además, se ha encontrado que la síntesis de carotenoides involucrados en la producción de norisoprenoides-C13, responsables de los aromas característicos de las variedades de uva, se modifica por la altura del cultivo (Chavez y Oliveira 2004, Falcao *et al.* 2007). En Baja California, se desconoce el efecto de la temperatura sobre la acumulación de sólidos solubles, polifenoles y otros componentes químicos de las uvas.

Además de la altura, las pendientes muy pronunciadas incrementan la temperatura por exposición al sol y forman patrones de flujo de viento particulares que impactan el desarrollo de la vid (Maltman 2008). Freeman y Kliever (1983) demostraron que los canales de viento tienen mayor impacto en la maduración de la uva que la temperatura del aire o la exposición al sol. Las ráfagas de viento, por ejemplo, pueden ser causantes de los parches de uva con acidez alta en el valle de Salinas, California, EEUA (Wahl 1988). En general la topografía, modifica al clima local y produce cambios en la fisiología de la vid y por lo tanto en los procesos de maduración (Holden y Brereton 2004, Bonnefoy *et al.* 2013).

En el municipio de Ensenada se localizan una serie de valles costeros e intermontanos en los cuales se cultivan las vides. En estos valles, se presentan climas secos y muy secos, temperatura media anual entre 16° a 18° C y la influencia marina, intensidad y dirección del viento. Localmente, los factores climáticos se ven modificados por la topografía y el relieve (ondulado y montañoso), dando a la uva de cada región características diferentes.

Maduración de la uva

El ciclo de crecimiento de la vid se divide en pérdida de xilema durante la poda, brotación, floración, crecimiento de bayas, envero, maduración y periodo de latencia (Sperry *et al.* 1987). En gran medida, todos estos estadios fenológicos están regulados por cambios en la concentración de hormonas vegetales que a su vez están regulados por factores ambientales. De inicio, la pérdida de xilema debido a las heridas causadas por la poda es un detonante para el inicio de la brotación después del periodo de dormancia (Winkler *et al.* 1974). Estudios en la variedad de uva Cabernet sauvignon revelan que la concentración de ácido abscísico disminuye con el término del periodo dormancia, mientras que la putrescina,

poliamina relacionada con la florescencia y senescencia, aumenta (Ricouard *et al.* 1994). Sin embargo, se han reportado correlaciones positivas entre el término de la latencia y la disminución en el contenido de etileno. Por ejemplo, Gemma (1995) reporta un aumento del ácido 1-aminocyclopropane -1-carbónico, precursor en la síntesis del etileno durante el periodo de latencia para luego ir gradualmente disminuyendo a medida que se acumulan horas de frío.

La brotación de las vides en el hemisferio norte, generalmente se inicia en los meses de marzo, dependiendo de la variedad y el clima local. Estudios han demostrado que el crecimiento de los brotes es inducido por una temperatura promedio de 10 °C (Mills *et al.* 2006). Después de la brotación, se inicia un crecimiento exponencial donde la liberación de auxinas que promueven el crecimiento apical e inhiben el crecimiento lateral (Winkler *et al.* 1974). Con el aumento de la temperatura se acelera el crecimiento creando la cobertura de hojas, la principal función de éstas es capturar la luz del sol para generar energía para la producción de carbohidratos y la producción de inflorescencias (Haggerty 2013). El desarrollo de la vid depende de las condiciones ambientales para poder generar la mayor cantidad de inflorescencias (Mallet *et al.* 2016). Estos factores incluyen una alta intensidad de luz y temperaturas entre 25 y 30°C, así como una adecuada cantidad de agua y nutrientes (Conde *et al.* 2007). Durante el periodo en que la flor es totalmente funcional, el crecimiento de la fruta es activado por la polinización y la producción elevada de la auxina ácido indolacético (IAA) (Cawthon y Morris 1982).

Después de la fecundación de las flores, el crecimiento de la uva presenta un ciclo doble sigmoide caracterizado por tres fases (Coombe 1987). En la Fase uno del ciclo se presenta un rápido crecimiento celular causado por aumento de tamaño de las vacuolas debido al

rápido almacenamiento de ácido málico y ácido tartárico (Volschenk *et al.* 2006). La tasa de crecimiento disminuye durante la fase dos llegando la acumulación de ácidos a su máximo nivel (Coombe *et al.* 2000). En la Fase tres, se inicia el proceso de envero, en el cual las bayas cambian de color debido a la biosíntesis de antocianos. Durante este proceso de envero se genera una rápida disminución de la acidez debido a la respiración del ácido málico, además de un incremento sustancial en la concentración de glucosa y fructosa (Volschenk *et al.* 2006).

Al final de la maduración, generalmente la concentración de ácido málico en uvas maduras presenta un rango entre los 2 a 6.5 g L⁻¹. Sin embargo, en regiones frías o donde se han presentado veranos especialmente fríos, se han encontrado concentraciones de 16 g L⁻¹ (Gallander 1977), en contraste con regiones cálidas la concentración de acidez baja y pHs elevados, debido a las altas tasas de respiración. (Haggerty 2013). No obstante, la importancia del clima sobre la maduración, en Baja California no existen reportes publicados sobre el efecto del clima de los diferentes valles vitivinícolas sobre la acumulación de antocianos o sobre la concentración de componentes químicos en las uvas.

La maduración final de los frutos se caracteriza por una serie de cambios fisicoquímicos. Estos cambios están asociados a las condiciones climáticas, edafológicas y genéticas y son usados como marcadores del grado de maduración de la uva (Andrades y González Andrade 2015). En esta última etapa, la concentración de sólidos solubles totales es el parámetro más importante con el cual los viticultores se basan para determinar el tiempo de cosecha. Por lo anterior, la maduración comercial está basada principalmente en la acumulación masiva de glucosa y fructosa dentro de las vacuolas (Conde *et al.* 2007). Sin

embargo, muchos productores toman en cuenta otros parámetros como la madurez de la semilla y la concentración de ácidos para determinar el tiempo de la cosecha (Huglin 1986).

Temperatura

Las variables meteorológicas de una región, principalmente la temperatura y la humedad, pueden desatar cambios importantes en la fenología de las vides. Los métodos de manejo de los viñedos, como la poda, el método de conducción y la orientación del viñedo, se usan para controlar la temperatura y humedad. Los sistemas de plantación pueden disminuir o aumentar la exposición de la radiación solar en algunas secciones dentro del viñedo promoviendo diferencias hasta de 5 °C en la temperatura (Junquera 2015). Sin un manejo adecuado de los sistemas de cultivo, se ha demostrado que el aumento de la temperatura por exposición al sol promueve la concentración de azúcar en la baya por deshidratación (Marangon *et al.* 2016). Por ejemplo, una diferencia de 2 °C en la temperatura en viñedos de uva Pinot noir y Riesling en Australia, produjo diferencias significativas en las tasas fotosintéticas. Las vides expuestas a las bajas temperaturas, presentaron una disminución del 10 % en la incorporación de CO₂ mientras que temperaturas mayores de 15 °C incrementaron la fijación de carbono y la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos de las uvas (Hendrickson *et al.* 2004).

En las regiones que se consideran de clima mediterráneo, la exposición a temperaturas mayores de 30 °C es común durante la temporada de maduración de la uva. La exposición a estas temperaturas promueve el intercambio de almidones por lípidos en los cloroplastos de las hojas que disminuyen los procesos metabólicos y evitan la acumulación del azúcar (Coombe 1987). Del mismo modo, el aumento de la temperatura, afecta la síntesis y

conversión del ácido málico. Por ejemplo, a temperaturas de 46 °C la actividad de las enzimas málicas se incrementan, en contraste, la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa se inhibe rápidamente por arriba de los 35 °C, disminuyendo la concentración de ácido málico. Esto indica que, en regiones frías, la concentración de ácido málico es mayor que en las regiones cálidas debido a que la temperatura regula el balance entre la síntesis y el catabolismo del ácido málico (Conde *et al.* 2007).

Particularmente el incremento de la temperatura afecta directamente la síntesis de polifenoles en la uva. A temperaturas elevadas, se ha observado una disminución en la síntesis de la enzima Fenilalanina amonio liasa (PAL). El PAL, es necesario para la síntesis del fenilpropanoide, la udp glucosa y la Flavonoide 3 O glicosiltransferasa, indispensables en la síntesis de antocianinas. Algunos autores, han observado una correlación negativa entre temperaturas mayores de 30 °C, la concentración de antocianinas (Movahed *et al.* 2016). Sin embargo, otros estudios han demostrado que la temperatura tiene un menor impacto sobre la acumulación de taninos en la piel y las semillas (Cohen *et al.* 2012).

En otras regiones del mundo, fuera de las zonas con climas mediterráneo, donde las temperaturas promedio son menores, los cultivos de uva son favorecidos por los cambios en la meteorología regional (Andreoli *et al.* 2015). En el Reino Unido, por ejemplo, se ha demostrado que el incremento de la temperatura de 12 a 14 °C durante el periodo de crecimiento de la vid debido al cambio climático, ha permitido el desarrollo de otras variedades de uva y ha permitido el incremento de las zonas de cultivo (Nesbitt y Kemp 2016). No obstante, la importancia de la temperatura sobre la fisiología de la vid y la maduración de las uvas para vino, se desconoce en Baja California el efecto del clima de los

diferentes valles vitivinícolas sobre la maduración de las diferentes variedades de uva cultivadas.

Precipitación

Los patrones climáticos en el mundo se han modificado como resultado del cambio climático global, lo que ha afectado también los patrones climáticos locales. En el norte de Baja California, por ejemplo, se ha observado un aumento en las temperaturas medias anuales en las últimas décadas (Valenzuela *et al.* 2014). Paralelo a esto, se ha identificado una disminución de la precipitación para la región norte de Baja California y el sur de California en un 30 % (Lobell *et al.* 2007). La presencia de periodos prolongados de sequías ha generado que sea más frecuente el uso del riego artificial y por lo tanto el aumento en la concentración de sales en la zona de riego (Valenzuela *et al.* 2014). Estos cambios climáticos también impactan la fisiología de las plantas, incluyendo la vid.

En países como Argentina y México se ha reportado un incremento de la salinidad (niveles de Na y K) en la uvas y vinos, fenómeno asociado a zonas de cultivo semiáridas impactadas por la baja calidad del agua y los sistemas de riego artificial (Cabello *et al.* 2013 y Mira de Orduña 2010). Se conoce que las vides son poco tolerantes al incremento de la salinidad en el agua de riego. El potasio, por ejemplo, es el catión más abundante dentro de las células de las plantas, que regula la turgencia, el balance de cargas y la síntesis de proteínas (Leigh y Wyn-Jones 1984). En particular, una concentración mayor de 50 mM de potasio, disminuye la concentración de ácido tartárico precipitándose en sales de bitartrato y aumentando el pH de los mostos o vinos (Kodur 2011). Así mismo, disminuye la tasa de degradación del ácido málico, impidiendo la transferencia desde las vacuolas al citoplasma

donde el ácido málico es degradado en los procesos de respiración (Coombe 1987). Por otra parte, se ha encontrado que altos niveles de sal en el agua inducen al cierre de los estomas y reducen la fotosíntesis, lo que da como resultado eventualmente la muerte de las plantas (Downton 1977). En regiones del sur de Australia, en los cultivos de uva regadas con agua cuya conductividad eléctrica supera los 2.7 dS m^{-1} , se ha encontrado en el jugo de las uvas concentraciones máximas de 147 mg L^{-1} de sodio, excediendo lo recomendado por la OIV, lo que pudiera tener un impacto en la comercialización del producto (Leske *et al.* 1997). En la última década, en las regiones vinícolas de Baja California se ha encontrado un aumento en la concentración de sales, con reportes cercanos a los 3.6 dS m^{-1} en el agua de riego (Cabello-Pasini *et al.* 2013).

La vid es un cultivo clasificado como moderadamente sensible a la salinidad, con un valor umbral de conductividad eléctrica de 1.5 dS m^{-1} . En cultivos donde este límite es superado se ha demostrado que se produce un descenso del rendimiento en un 9.6 % por unidad sobre dicho umbral (Downton 1977). A nivel celular se producen daños como la degradación de la clorofila, la pérdida de integridad de las membranas celulares y la muerte de las células por deshidratación o acumulación de iones tóxicos en el citoplasma (Glenn *et al.* 2008). Con el aumento de la salinidad de las aguas de riego por la falta de lluvias, se ha observado el desarrollo de diversas estrategias fisiológicas por parte de las plantas para ser más tolerantes a la salinidad. Por ejemplo, ajustando la presión osmótica a través de la síntesis de prolina. La glicina betaína, la prolina, el manitol, los azúcares, son sustancias con efecto osmoprotector que le sirven a la planta para equilibrar el balance hídrico celular. (Greenway y Munns 1980). Otra estrategia seguida por las plantas es la acumulación de las sales en las vacuolas celulares, controlando de esta forma la concentración de sales en el citosol y

manteniendo en las células una relación K^+/Na^+ alta alterando la fisiología de la planta y aumentando su gasto energético (Glenn *et al.* 2008).

Una estrategia usada frecuentemente por los productores para compensar los niveles altos de sales en el agua de riego es el uso de portainjertos. Esta tolerancia está íntimamente ligada a la propia capacidad de los portainjertos para regular la absorción del sodio y del cloruro (Maas y Hoffman 1977). Sin embargo, esto lleva a un aumento en el costo de producción y por lo tanto en el precio final del producto. No obstante, la importancia del clima sobre la fisiología de la vid, se desconoce su impacto sobre la acumulación de sólidos solubles, ácidos orgánicos, nitrógeno y otros componentes químicos que son críticos para la producción de vino. Especialmente durante las diferentes etapas del desarrollo como el envero, durante el cual se presentan cambios que definen la presencia o ausencia y cantidad de compuestos de interés para la producción de vinos.

Polifenoles

Los compuestos fenólicos en la uva juegan un papel crítico en la producción de vino, contribuyendo con el aroma, color, astringencia y en general con las propiedades organolépticas, las cuales determinan la calidad del vino (Cohen *et al.* 2008). Los polifenoles en la uva se pueden dividir en dos grandes grupos: flavonoides y no flavonoides. En las semillas se encuentran principalmente los flavonoides del tipo flavan-3-ols, mientras que en la piel de la uva presenta una mezcla de flavonoles, flavan-3-ols y antocianinas que son sintetizadas por procesos muy similares (Texeira *et al.* 2013).

La temperatura, el estrés hídrico y la intensidad de luz, son factores críticos para la síntesis de antocianos (color) en una gran cantidad de frutas, incluyendo las uvas (Rodríguez

Montealegre *et al.* 2006). En la uva los antocianos son sintetizados por la vía de los flavonoides a través de la expresión de la enzima glucosa flavonoide 3-O-glucosil transferasa, esta enzima cataliza la glicosilación de las antocianidinas inestables en antocianos pigmentados. Dos de las antocianinas primarias (cianidina y delphinidina) son sintetizadas en la piel de la uva (Dai *et al.* 2002). Específicamente en uvas, Yamane *et al.* (2006) encontró que a temperaturas de 30 °C se reduce la expresión de genes encargados de la biosíntesis de antocianos en las pieles, lo cual a su vez reduce la producción de estas moléculas. Además, con altas temperaturas los terpenos se incrementan ofreciendo aromas frutales, mientras que las metoxipirazinas, las cuales proveen los aromas verdes o vegetales, tienden a disminuir (Cook *et al.* 2015). Así como la temperatura afecta la síntesis de polifenoles. La exposición a la luz solar tiene una alta correlación con la acumulación de las antocianinas y el incremento de ácidos hidroxicinámicos a través de la expresión de genes que codifican la fenilalanina amonio-liasa, falvanol 3 hidroxilasa y flavanol sintasa (Run-Ze *et al.* 2017). Por otra parte, Kennedy *et al.* (2002) determinó que el déficit de agua en la concentración de antocianinas y una disminución de los flavonoides. Esto se debe principalmente a una disminución del tamaño de la baya u una modificación en la biosíntesis de los flavonoides.

Los compuestos fenólicos de las semillas también contribuyen a las características organolépticas, tales como, la astringencia, amargor y la capacidad de crianza de los vinos (Robichaud y Noble 1990). El impacto que la semilla puede tener en la calidad final de la uva inicia con el desarrollo de la uva. Por ejemplo, se sabe que el tamaño de la baya durante su crecimiento, está relacionado directamente con la composición química de la semilla (Kennedy *et al.* 2000). En la uva Cabernet Sauvignon se ha encontrado una correlación

negativa entre el peso de la uva y el contenido de sólidos solubles, debido al tamaño de la semilla (WuDai *et al.* 2009).

En la producción de vinos, las semillas de la uva, tienen un papel muy importante, contribuyendo principalmente con el flavan-3-ol monómero y las proantocianidinas, coloquialmente llamadas taninos. Durante la etapa de maduración el flavan-3-ol decrece dramáticamente hasta en un 90 %, mientras que las proantocianidinas en un 60 % resultado de procesos oxidativos (Kennedy *et al.* 2000). Los productos de esta oxidación forman enlaces entre los polifenoles, carbohidratos y proteínas por lo que se espera que los grupos funcionales cambian, modificando las propiedades sensoriales como la astringencia en los vinos (Hagerman *et al.* 1998). Las altas temperaturas reducen el periodo de maduración y es posible que la semilla no alcance una madurez plena; por lo que los vinos que se producen, presenten menor concentración de color y baja concentración de ácidos orgánicos (Hiba *et al.* 2017). Estos cambios en el proceso de maduración dificultan el equilibrio aromático y fenólico durante la maduración de las uvas (Kontoudakis 2010 y Winkler *et al.* 1974). No obstante, su importancia en la producción del vino, se desconoce el efecto de la temperatura sobre la síntesis y maduración de polifenoles de las uvas en Baja California.

Área de estudio

El valle de Guadalupe (32° 03'N, 116° 37'W) es una cuenca localizada a aproximadamente 30 km al noreste de la ciudad de Ensenada, Baja California, México (Fig 1.1). El valle de Guadalupe tiene una longitud de aproximadamente 20 km y un ancho promedio de 5 km. San Antonio de las Minas (SAM) se localiza en la zona oeste del valle, a aproximadamente 10 km de la costa del océano Pacífico. Por otro lado, el poblado de

Guadalupe (Francisco Zarco) se encuentra en la región este del valle de Guadalupe a aproximadamente 30 km de la costa. El valle de Guadalupe es considerado como una región semidesértica con la mayoría de las precipitaciones (285 mm año^{-1}) durante el invierno. El valle de Santo Tomás se encuentra localizado a 50 km al sur de Ensenada ($31^\circ 34' \text{ N}$, $116^\circ 24' \text{ W}$) y el valle de San Vicente ($31^\circ 12' \text{ N}$, $116^\circ 12' \text{ W}$) se encuentra localizado a 90 km al sur de Ensenada.

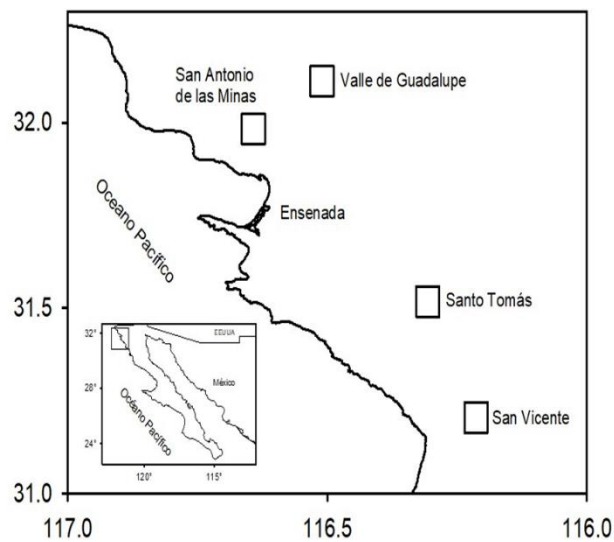


Figura 1.1.- Localización de los valles vitivinícolas de San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, Santo Tomás y San Vicente, Baja California, México.

Objetivos

Objetivo General

Caracterizar las localidades con base en los índices climáticos y evaluar el efecto del clima sobre los parámetros fisicoquímicos de la uva para vino en Baja California.

Objetivos específicos

1. Evaluar las características climáticas, del suelo y la evapotranspiración entre las regiones vinícolas de Baja California.
2. Establecer la diferencia espacial de las variables climáticas y su relación con las características fisicoquímicas de la uva en la región de Baja California, México
3. Evaluar el efecto del grado de madurez de la uva, sobre la concentración de polifenoles y el color de la semilla, en diferentes viñedos de Baja California.

Capítulo 2. Climatología y evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California

Resumen

Los índices bioclimáticos, incluyendo la evapotranspiración, se han utilizado de manera conjunta para caracterizar el clima en una región y correlacionar su influencia en los procesos fisiológicos de la vid y en la calidad del fruto y del vino, así como caracterizar y definir zonas de cultivo. Sin embargo, se han realizado pocos estudios para caracterizar las regiones vitivinícolas en México. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue el de caracterizar las regiones vinícolas de Baja California de acuerdo a las variables climáticas. Se evaluó la temperatura ambiental, irradiancia, humedad relativa, velocidad y dirección del viento en el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST) en Baja California de 2013 a 2018. La relación que existe entre los índices bioclimáticos de GDD y HI fue significativamente alta, indicando que estos dos índices capturan la misma información climática. Usando los GDD se clasificaron los valles de SAM y SV como región IV (Templado-cálido) mientras que VG y ST se catalogaron como región V (zonas cálidas y muy cálidas). De una manera similar, la evapotranspiración en SAM y SV fue 15% menor a la observada en VG y ST. Estos resultados ayudan a establecer las zonas más adecuadas para la viticultura, así como para la el manejo del agua en Baja California.

Abstract

Bioclimatic indices, including evapotranspiration, have been used together to characterize the climate in a region and correlate its influence on the physiological processes of the vine and on the quality of the fruit and wine, as well as characterizing and defining growing areas. However, few studies have been carried out to characterize the wine regions in Mexico. Therefore, the objective of this study was to characterize the wine regions of Baja California according to climatic variables. Air temperature, irradiance, relative humidity, wind speed and direction were evaluated in the Guadalupe Valley (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) and Santo Tomás (ST) from 2013 to 2018. The relationship between the bioclimatic indices of GDD and HI was significantly high, indicating that these two indices capture the same climate information. Using the GDDs, the SAM and SV valleys were classified as region IV (Temperate-warm) while VG and ST were classified as region V (warm and very warm zones). Similarly, evapotranspiration in SAM and SV was 15% lower than that observed in VG and ST. These results help to establish the most suitable areas for viticulture as well as for water management in Baja California.

Introducción

La temperatura, radiación solar, tipo de suelo y la precipitación pluvial tienen un impacto crítico en el desarrollo de la vid y maduración de la uva (Hidalgo 1980). El desarrollo de la vid y la maduración de sus frutos, por ejemplo, requieren de iluminación suficiente que asegure la saturación fotosintética. El rango de temperatura promedio ideal para el desarrollo de la uva para vino generalmente oscila entre los 11° y 18 °C, sin ser menores a los 10 °C ni mayores a los 40 °C (Hidalgo 1980). Derivado de estas características climáticas, la vid es cultivada en los climas mediterráneos, que corresponden a las zonas comprendidas entre los paralelos de 30° y 50° de latitud norte, y los 30° y 40° de latitud sur.

La temperatura y la irradiancia controlan gran cantidad de procesos fisiológicos en las plantas, incluyendo la vid. Se ha determinado, por ejemplo, que las yemas de la vid se abren a los 4°C y las hojas aparecen cuando la temperatura promedio es de 7°C. El crecimiento se mantiene a temperaturas no mayores de 25°C, sin embargo, después de los 30°C el aumento de la fotorespiración y el cierre estomático, hace que la fotosíntesis disminuya rápidamente (Carbonneau *et al.* 1992). Por otro lado, las bajas temperaturas (0-6°C) promueven que la fotosíntesis neta cese y que el crecimiento se detenga. La temperatura también juega un papel crítico durante la maduración.

La maduración a elevadas temperaturas, por ejemplo, elevan las concentraciones de azúcar y disminuyen la concentración de ácidos orgánicos en las bayas (Zarrouk *et al.* 2016). Por el contrario, la maduración a bajas temperaturas, tienden a acumular bajas concentraciones de azúcares y las bayas terminan con altos niveles de ácidos orgánicos. Por lo anterior, cada región vitivinícola cuenta con características climáticas que impactan las

características fisiológicas de la vid y la maduración de las bayas (Jackson y Lombard 1993). Sin embargo, en México existen pocos estudios que contrasten las características climáticas de los valles vitivinícolas (Valenzuela Solano *et al.* 2014).

La textura y composición del suelo también juegan un papel importante en la fisiología de la vid. Al igual que para otros cultivos agrícolas, el suelo para el cultivo de la vid requiere ser permeable, generalmente con una estructura de suelo franco arenoso (Conradie *et al.* 2002). Estudios coinciden en que las diferentes características del suelo, aun bajo las mismas condiciones de clima, inducen diferencias en las características finales de los vinos (Tramontini *et al.* 2013). Sin embargo, otros investigadores confirman que las características finales de la uva están definidas principalmente por el clima local y la disponibilidad de agua, y secundariamente por el tipo de suelo (Conradie *et al.* 2002).

Debido a la importancia del clima en el desarrollo de la vid, se han desarrollado índices ligados al cultivo de la vid (Fraga *et al.* 2013). Estos índices por lo general se utilizan de manera conjunta para clasificar el clima en una región o para determinar la influencia del clima en los procesos fisiológicos, la producción y calidad del fruto (Jones *et al.* 2010). Tanto el índice de los grados día en el periodo de crecimiento (Growing Degree Day, GDD) como el índice heliotérmico de Huglin (HI) son utilizados con la finalidad de establecer la aptitud de la región para el cultivo de la vid (Huglin 1978).

Estos índices climáticos permiten caracterizar zonas de cultivo para poder definir y diferenciar a las regiones productoras de uva, así como realizar estudios de zonificación de regiones vitivinícolas a diferentes escalas (Fraga *et al.* 2013). Además, los parámetros climáticos son utilizados para estimar la evapotranspiración en viñedos y poder hacer un

manejo adecuado del agua. No obstante, la importancia del clima sobre la fisiología y maduración de la vid, en México no existe una caracterización detallada del microclima y la evapotranspiración de los diferentes valles vitivinícolas. Debido a que la fisiología de la uva y maduración de la uva depende del clima y es el factor que limita geográficamente la expansión de la viticultura, el objetivo de este trabajo fue el de evaluar las diferencias climáticas y la evapotranspiración entre las regiones vinícolas de Baja California.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Se evaluaron las características climáticas de cuatro viñedos comerciales de diferentes valles vitivinícolas de Baja California. El Valle de Guadalupe (VG) se localiza a 25 km al Noreste de Ensenada. Es un valle de origen fluvial a través del cual corre el arroyo Guadalupe y está flanqueado por cerros con altitudes promedio de 400 m.s.n.m. El valle de San Antonio de las minas (SAM) se localiza a 10 km de la costa del océano Pacífico y al oeste del VG. El valle de Santo Tomás (ST) se encuentra a 50 km al sur de Ensenada y se caracteriza por presentar montañas que alcanzan los 1,000 m.s.n.m. La topografía de este valle presenta una forma alargada, que está delimitada por las cañadas que tienen orientación preferencial NW-SE. Finalmente, San Vicente (SV) es un valle costero que se localiza a 70 km al Sur de la ciudad de Ensenada y a 10 km de la costa del océano Pacífico.

Análisis de suelo

Muestras de suelo (4 por viñedo) fueron tomadas en las cuatro zonas estudiadas (n = 16). Se recolectó aproximadamente un kg de muestra entre planta y planta a una profundidad de 0 a 30 cm. Se determinó el porcentaje de saturación de agua, conductividad eléctrica mediante conductimetría, pH mediante potenciometría y sólidos disueltos totales mediante conductimetría. Además, se determinó la concentración de calcio, sodio, magnesio, carbonatos, cloruros y sulfatos mediante titulaciones. Se calculó la relación adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) utilizando la concentración de estos iones. Los parámetros texturales del suelo se determinaron mediante tamizado y análisis de pipeta para la fracción fina (limos y arcillas) (USDA 2006).

Datos climatológicos

Los datos climáticos se recolectaron de 2013 a 2018 cada 15 minutos usando estaciones meteorológicas (HOBO U30, USA) localizadas en cada uno de los viñedos. La temperatura y la humedad relativa se evaluaron con un sensor mixto HOBO- SJ BM002. La precipitación pluvial se midió con un sensor HOBO RG3M con capacidad 12.7 mm hr⁻¹. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) se determinó a partir de un sensor HOBO SLIM 003. La velocidad y dirección del viento se midieron con un sensor HOBO SWSETB. Los sensores se ubicaron a 2.5 m sobre el suelo.

Se calcularon dos índices bioclimáticos a partir de los datos de temperatura para evaluar la variación espacial y temporal de la temperatura en los diferentes viñedos. El índice de Winkler o grados día de crecimiento (GDD) se determinó como la suma de la temperatura por arriba de 10°C ($GDD = \sum (T_{prom} - 10)$), que fue calculado del 1 de abril al

31 de octubre (Winkler *et al.* 1974). El índice heliotérmico o de Huglin (HI) fue calculado usando la temperatura promedio diaria y la temperatura máxima del día del 1ero de abril al 30 de septiembre ($HI = \Sigma (T_{prom}-10 + T_{max}-10) / 2 \times k$). El coeficiente k, expresa la duración del día con respecto de la latitud (Ensenada $k = 1$) (Huglin 1978).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) para cada uno de los valles vitivinícolas se determinó utilizando la ecuación de Penman-Monteith de acuerdo a Snyder y Eching (2002).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde R_n es la radiación neta en la superficie del viñedo (MJ m⁻² d⁻¹), G flujo del calor de suelo (MJ m⁻² d⁻¹), T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), u₂ velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹), e_s presión de vapor de saturación (kPa), e_a es la presión real de vapor (kPa), e_s - e_a es déficit de presión de vapor (kPa), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor vs. Temperatura (kPa °C⁻¹) y γ una constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

La radiación neta (R_n) se calculó a partir de la ecuación propuesta por Samani (2000).

$$R_n = R_o * KT * (T_{max} - T_{min}) 0.5$$

Donde R_o es la radiación extraterrestre (mm d⁻¹), KT es un coeficiente empírico calculado para regiones costeras (0.19), T_{max} es la temperatura diaria máxima y T_{min} es la temperatura diaria mínima.

Análisis estadístico

Las diferencias estadísticas de los índices bioclimáticos y de las características del suelo se determinaron con un análisis de varianza (Andeva) después de probar la normalidad y homocedasticidad de los datos. Todas las comparaciones múltiples de promedios se realizaron con la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$). Se realizaron gráficas de contornos a partir de un método geoestadístico de interpolación (Kriging) (Burgess y Webster 1980).

Dicho método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida. Este análisis se realizó para evaluar la relación entre los datos obtenidos de cada variable y para cada una zona de muestreo en los tres periodos de cosecha (2016 - 2018).

Resultados y discusión

Las características texturales de los suelos de los valles vitivinícolas de Baja California presentaron diferencias significativas (Tabla 2.1, $p < 0.05$), sin embargo, la textura de los suelos de los viñedos de Baja California fue consistente a la observada en los viñedos de California, EEUUA (Knipper *et al.* 2020). La composición mecánica del suelo para VG y SAM fue mayor al 65% de arenas, y menor de 12% de limos y arcillas. Las características texturales de VG son típicas de suelos arenoso-francos, mientras que las de SAM representan un suelo franco-arenoso. Por el contrario, los valles de SV y VT presentaron concentraciones de arenas menores al 60%, y entre 20 y 30% de limos y arcillas, En los viñedos de SV y ST

predomina el suelo franco y franco arcilloso, que tienden a presentar mayor retención de agua y nutrientes (White 2009).

Se ha demostrado que el tipo de suelo puede impactar la fisiología y maduración de la uva (Jackson y Lombard 1993). Se ha demostrado que mayor cantidad de agua disponible en la zona radicular invariablemente ocasiona un crecimiento excesivo de los sarmientos, promoviendo la disminución en el rendimiento del fruto y aumentando la posibilidad de enfermedades por hongos (Jackson y Coombe 1988). Por otro lado, la baja retención de agua por el suelo franco-arenoso, por ejemplo, demostró aumentar la concentración de azúcar en las bayas y disminuir la tasa de crecimiento de los sarmientos (Stevens *et al.* 1995). Además, esta disminución de la tasa de crecimiento resultó en una reducción de la cobertura del dosel, aumentando la eficiencia fotosintética y reduciendo las enfermedades causadas por hongos (Dry *et al.* 1998).

Las características fisicoquímicas del suelo variaron significativamente ($p < 0.05$) entre las diferentes zonas estudiadas (Tabla 2.1). La menor concentración de Ca (79.4 ppm), Mg (39.4 ppm), y Na (16.7 ppm) se presentaron en el suelo de VG, mientras que los valores más altos Ca (273 ppm), Mg (155 ppm), y Na (70 ppm) se encontraron en ST. Los valores más bajos de HCO_3 (204 ppm) se presentaron en los suelos de SV y los valores más altos (355 ppm) en los suelos de ST. La menor concentración de Cl (56 ppm) se observó en los suelos de VG, mientras que los valores más altos (351 ppm) se presentaron en ST. Por último, la menor concentración de SO_4 (21 ppm) se presentó en los suelos de SAM, mientras que los valores más altos (235 ppm) se observaron en SV.

Las diferencias en iones del suelo seguramente son el resultado de las diferencias de origen y textura de los suelos de los diferentes valles. En general, los suelos se clasifican como normales, salinos, sódicos o sódico-salinos en base a sus valores de pH, conductividad eléctrica (EC), relación de adsorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (Horneck 2007). Los suelos salinos pueden incrementar el potencial osmótico, dificultando a las plantas la adsorción de agua (Hanson *et al.* 2004). Derivado de la concentración de sales en el suelo de los valles vitícolas estudiados, todos se clasifican como suelos normales y potencialmente no generan un riesgo para el cultivo de vid, lo que coincide con resultados de otros estudios en la zona (Salgado-Tránsito *et al.* 2012).

Sin embargo, se ha encontrado que aproximadamente 10% del área cultivable del VG es irrigada con agua que contiene altos niveles de salinidad ($CE > 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PSI > 15\%$) lo cual podría cambiar las características fisicoquímicas del suelo y afectar la fisiología de la vid (Salgado-Tránsito *et al.* 2012). El porcentaje de saturación del suelo (30%) fue similar en las cuatro zonas de estudio, mientras que los valores de pH variaron significativamente (Tabla 2.1, $p < 0.05$). Sin embargo, la conductividad eléctrica (EC), razón de adsorción de sodio (RAS), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y concentración de materia orgánica (MO), presentaron los valores significativamente ($p < 0.05$) más elevados en ST, mientras que los valores más bajos se encontraron en VG.

Estudios sugieren que las vides requieren suelos con pH entre 6.5 y 7.5 para desarrollarse óptimamente (Conradie 1983). Los valores de pH del suelo de las cuatro zonas estudiadas fluctuaron de 7.5 a 7.9, y se encuentran en el límite superior recomendado para el cultivo de la vid. En general, la disponibilidad de nutrientes aumenta cuando el pH del suelo

se encuentra entre 6.5 y 7.0, y la disponibilidad de nitrógeno, calcio, magnesio y hierro para las vides se reduce significativamente cuando el pH del suelo es mayor a 8.0 (Conradie 1983).

Además, los valores elevados de pH (>8.2) y una elevada concentración de carbonatos en el suelo promueven una deficiencia en la asimilación de hierro, causando clorosis en las plantas (Saayman 1982). Por lo anterior, los problemas de clorosis presentados en algunos de los viñedos de Baja California podrían ser, parcialmente, el resultado de elevados pHs en el suelo. Este efecto de alcalinidad se podría presentar especialmente en VG y SV, ya que los valores promedio de pH de suelo están muy cercanos a 8.0 y en algunos casos, los valores individuales son mayores a 8.2.

Los patrones de temperatura promedio para las cuatro zonas estudiadas fueron relativamente similares (Fig 2.1). Sin embargo, la dispersión de los promedios diarios de temperatura fue mayor en SAM, ST y VG, y fue menor en SV. Por otro lado, las temperaturas promedio más altas durante el verano ($p < 0.1$) se presentaron para VG y ST, y menores para SV y SAM. Sin embargo, se ha demostrado que la fotosíntesis y el crecimiento de la vid son afectadas negativamente cuando la temperatura es superior a 30°C (Greer y Weedon 2012).

Todos los valles vitivinícolas estudiados presentaron temperaturas promedio diarias mayores a 30°C durante el verano. Además, durante algunos días de verano, las temperaturas máximas en estos valles alcanzaron los 40°C. Las altas temperaturas observadas sugieren que las condiciones climáticas de estos valles no son las óptimas para la producción de vinos de calidad (Winkler *et al.* 1974). Modelos sobre el cambio climático sugieren un aumento en la acumulación de los grados días de desarrollo y las temperaturas máximas medias en Baja California (Valenzuela Solano *et al.* 2014). Además, es probable que también se

experimenten cambios en el patrón de la precipitación lo que podría tener un efecto negativo en la disponibilidad de agua y en el incremento de temporadas de sequía en esta región (Del-Toro-Guerrero 2020).

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue similar para las zonas de estudio (Fig 2.2). En los cuatro valles se observaron los valores más elevados de PAR verano (aprox. $65 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y mínimos durante la temporada invernal ($21 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Las irradiancias más bajas se observaron en ST, y son el resultado de la topografía montañosa y el sombreado de estas montañas sobre la zona de estudio. Además, la ligera diferencia latitudinal de la irradiancia también podría estar determinada por la frecuencia de las neblinas. Estas neblinas son más intensas en el sur de California, EU y disminuyen en frecuencia hacia el sur de la península de Baja California, México (Lewis *et al.* 2003).

Las neblinas en Baja California se presentan durante el verano y están asociadas con el incremento de las surgencias en la costa durante el verano (Fischer *et al.* 2009). Estas surgencias cercanas a la costa acarrearán agua fría del fondo del mar, y promueven la condensación de la humedad atmosférica que finalmente forman las neblinas. Hacia el interior de la costa, SAM se localiza a 10 km de la costa, recibiendo neblinas con mayor frecuencia, mientras que el VG que se encuentra más alejada de la costa (25 km) generalmente no es afectada por las neblinas con la misma frecuencia (Johnstone y Dawson 2010). No obstante, las diferencias encontradas, la irradiancia observada durante el periodo activo de la vid en los valles vitivinícolas de Baja California son suficientes para saturar la fotosíntesis y asegurar una maduración adecuada de la fruta (Cabello-Pasini *et al.* 2017).

El patrón de precipitación pluvial se presentó para los mismos periodos de tiempo (invierno) en las cuatro zonas vitícolas estudiadas (Fig 2.3). La mayor ($p < 0.05$) precipitación durante el periodo 2015-2018 (291 mm) se presentó en SAM, y la menor para los valles de la zona sur (SV y ST). La precipitación para el para los valles del norte (SAM, VG) fue casi el doble de la que recibieron los valles del sur (ST, SV) a lo largo del periodo de estudio ($p < 0.05$). En todas las zonas se observó una disminución de la precipitación del 2014 al 2018. Durante el 2018 la cantidad de lluvia en las cuatro zonas de estudio fue muy escasa (< 150 mm), mientras que el año con la mayor precipitación fue el 2015 con aproximadamente 300 mm.

La humedad relativa (HR) del aire presentó variaciones en las cuatro zonas de estudio (Fig 2.4). Los valles más cercanos a la costa, SAM y SV, presentaron promedios diarios mayores al 80% durante la mayor parte del año, mientras que VG y ST se observaron en general promedios diarios menores a los 80% a lo largo del año. La mayor HR en SAM y SV probablemente aumenten la incidencia de enfermedades de hongos sobre la vid en estas zonas. Estos datos son consistentes con la mayor cantidad de humedad observada en la zona costera de California en relación con la zona central del estado.

Este patrón está controlado principalmente por la temporalidad anual, donde se presentan inviernos fríos y lluviosos y veranos cálidos y secos. En verano, la cobertura de nubes y neblinas es muy común a lo largo de la costa de California y Baja California, disminuyendo en frecuencia e intensidad al alejarse de la costa. En conjunto, el alto nivel de humedad relativa del aire en zonas cercanas a la costa es el resultado de la evaporación del agua de mar y las brisas marinas hacia la costa (Maderey 1975). Por lo anterior, en ST y VG,

se presentaron los porcentajes de humedad más bajos debidos principalmente a su topografía, su lejanía con la costa y las altas temperaturas en estos valles.

La velocidad del viento fluctuó significativamente ($p < 0.05$) a lo largo del año y entre las zonas estudiadas (Fig 2.5). La velocidad del viento fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en verano y menor en otoño-invierno. Las velocidades en verano para SAM y VG fue de aproximadamente 2.0 m s^{-1} mientras que en invierno se presentaron velocidades máximas ocasionales de hasta 3.2 m s^{-1} . En los valles del sur, ST y SV, la velocidad del viento en verano sobrepasó los 2.5 m s^{-1} y en invierno se presentaron eventos de velocidad del viento mayores a 3 m s^{-1} . En general, la celda de alta presión subtropical del Pacífico rige el clima de la región noroeste del país.

Esta celda tiene un desplazamiento estacional, la cual se mueve hacia el norte en verano, mientras que en el invierno se desplaza hacia el sur. Esta oscilación, promueve los veranos secos y cálidos dominados por los vientos alisios que cruzan el norte del país. Por el contrario, en invierno el sistema de vientos del oeste y los frentes fríos transportan la humedad del mar, generando lluvias invernales y bajas temperaturas. Sin embargo, las capas más bajas de circulación de vientos (entre 4 y 10 m) están determinadas por la serie de cadenas montañosas que se extienden de norte a sur a lo largo de Baja California (García *et al.* 1983).

Los vientos dominantes en SAM y en VG presentan una orientación suroeste, mientras que en el invierno los vientos del oeste tienen su origen en la celda anticiclónica del pacífico. La orientación del viento se dirige hacia la parte más baja de la cordillera que rodea a los valles, promoviendo una corriente de aire que se desplaza en la misma dirección. En

SV, el viento dominante proviene del este (Pérez-Villegas 1988), pero al no poder atravesar la barrera montañosa se desvía y fluye hacia la parte baja del valle, y es guiado por un cañón con dirección sur. En ST, los vientos presentan una orientación noroeste siguiendo la dirección del valle que está rodeado de montañas que superan los 500 metros de altura.

Al igual que la velocidad, la dirección del viento varió significativamente a lo largo del año en los diferentes valles (Fig 2.6). En SAM y VG, la dirección predominante a lo largo del año fue del suroeste (SO), con excepción del periodo de noviembre a enero, donde los vientos presentaron una dirección oeste (O), con periodos cortos de dirección norte (N) y velocidades más intensas. El patrón del viento en SV fue con dirección sur para todo el año, con cortos periodos de vientos provenientes del norte (N) y velocidades de moderadas a fuertes.

La dirección del viento predominante que se observó en ST fue del noroeste (NO), sin embargo, durante los meses de noviembre a febrero la dirección del viento dominante fue del sureste (SE). Los vientos que provienen del norte en todas las zonas de estudio durante el otoño e inviernos son derivados de los vientos de Santa Ana (Guzman-Morales y Gershunov 2019). Estos vientos se caracterizan por ser cálidos y secos con magnitudes mayores a 5 m s^{-1} , provenientes de regiones desérticas, con altas temperaturas y baja humedad.

Los índices bioclimáticos mostraron diferencias significativas entre las zonas de muestreo (Fig 2.7, $p < 0.05$). Las zonas menos cálidas en términos de acumulación de calor (GDD, HI) fueron SAM y SV. El valor medio de GDD para SAM fue de 2165 y para SV fue de 2065, mientras que VG y ST presentaron valores de 2411 y 2774, respectivamente.

Durante el 2016 y el 2018, la distribución de los GDD se comportó de manera similar, mientras que para el 2017, se observó un desplazamiento hacia el oeste de las isolíneas, siendo más evidente para SAM y VG.

El índice de Huglin presentó una diferencia entre las localidades que siguieron la misma tendencia que los GDD. En general, las isolíneas hacia la región sur son más cercanas entre sí, por lo que la distribución de las áreas de cultivo se reduce, mientras que la dispersión que se observó hacia el norte, sugiere una distribución más amplia para el cultivo de la vid. La correlación entre los índices bioclimáticos de GDD y HI es alta ($r > 0.94$), lo que sugiere que estos dos índices capturan la misma información climática (Jones *et al.* 2010). Por lo anterior, las características que refleja el índice de HI en este estudio son muy similares a la que define el de GDD.

De acuerdo con el índice GDD, SAM y SV se clasifican como como región IV (Templado-cálido) lo cual es consistente con lo observado en otros estudios (Valenzuela-Solano *et al.* 2014). El índice HI clasifica a SAM y SV como regiones templadas, lo que sugiere que ambas zonas son más apropiadas para el cultivo de la vid (Jones *et al.* 2010). Por otro lado, el VG y ST se clasifican como región V, por lo que son consideradas como las menos aptas para la producción de vinos de calidad.

Este es el primer estudio sobre la evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California y se demuestra una variación significativa entre estos. Se observó una variación estacional de la ETo en los valles estudiados, con valores máximos en verano y mínimos en invierno (Fig 2.8). Los valores de ETo en verano en VG y ST (aprox. 9 mm d^{-1}) fueron 15% más altos que en SAM y SV (aprox. 7.5 mm d^{-1} , $p < 0.05$) y son consistentes con los reportados

para zonas agrícolas del sur de California, EEUUA (Knipper *et al.* 2019). Los mayores valores de ETo para el VG y ST son principalmente el resultado de las mayores temperaturas y menores HR con respecto a los otros valles vitivinícolas.

Los resultados sugieren un mayor requerimiento hídrico para la viticultura en VG y ST, con relación a los valles vitivinícolas más costeros. Establecer programas de riego apropiados es fundamental para desarrollar cultivos vitícolas exitosos, y esto solo se puede lograr conociendo detalladamente las variaciones de ETo a lo largo del año. Además, se ha demostrado que programas de estrés hídrico moderado pueden mejorar la composición o calidad de las uvas usadas para la producción de vino (Williams *et al.* 1994)

Conclusiones

El clima y las características del suelo, son los dos parámetros más importantes que definen el desarrollo de la vid y el proceso de maduración de la uva. Los valles vitivinícolas de Baja California presentaron diferencias climáticas que impactan críticamente en su aptitud para la producción de uva de calidad para la producción de vino y en su demanda de recursos hídricos. Estas diferencias están definidas principalmente por su cercanía con la costa, la altitud y la orografía del lugar.

Estas diferencias climáticas y las diferencias en ETo seguramente afectan la fenología, la maduración y las características químicas de la uva. De acuerdo con la clasificación de los índices climáticos establecidos en este trabajo, SAM y SV presentan un clima de templado a cálido, lo que sugiere que ambas zonas son más apropiadas para el cultivo de la vid. En cambio, el VG y ST se clasifican con un clima de cálido a caliente, por lo que son consideradas como las menos aptas para la producción de uva y vinos de calidad.

Los datos meteorológicos descritos en este trabajo, contribuyen para el cálculo de índices climáticos y diferencias de ETo que describen las zonas vinícolas de Baja California. La buena correlación entre los índices bioclimáticos (GDD y HI) sugiere que ambos capturan la misma información climática (Jones *et al.* 2010). Los resultados mostraron la variabilidad climática dentro de las regiones vinícolas y serán determinantes para definir las mejores zonas para nuevos cultivos de uva en Baja California.

Literatura citada

Burgess, T. M. and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: The semi-variogram and punctual kriging. *J. soil sci.* 31(2):15-331.

Cabello-Pasini, A.; Macias-Carranza, V. and Mejia-Trejo, A. 2017. The effect of mesoclimate on the ripening of Nebbiolo grapes (*Vitis vinifera*) in Valle de Guadalupe, Baja California, Mexico. *Agrociencia* 51(6):617-633.

Carbonneau, A.; Riou, C.; Guyon, D.; Riou, J. and Scheineider, C. 1992. *Agrométéorologie de la vigne en France*. Luxembourg, office des publications officielles des communautés européennes. 169 p.

Conradie, W. J. 1983. Liming and choice of rootstock as cultural techniques for vines in acid soils. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 4(2):39-44.

Conradie, W. J.; Carey, V. A.; Bonnardot, V.; Saayman, D. and Van-Schoor, L. H. 2002. Effect of different environmental factors on the performance of sauvignon Blanc grapevines in the stellenbosch/Durbanville districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 23(2):78–91.

Del-Toro-Guerrero, F. J.; and Kretzschmar, T. 2020. Precipitation-temperature variability and drought episodes in northwest Baja California, México. *J. Hydrol.: Regional Studies* 27:100653.

Dry, P. R.; Loveys, B.; Johnstone, A. y Saddler, L. 1998. Grapevine response to root pruning. *The Australian grapegrower and winemaker (Annual Technical Issue)* 414(1):73-78.

Fischer, D. T.; Still, C. H.; y Williams, P. A. 2009 Significance of summer fog and overcast for drought stress and ecological functioning of coastal California endemic plant species. *J. Biogeography* 36(4):783–799.

Fraga, H.; Malheiro, A. C.; and Santos, J. A. 2013. Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *Int. J. Biometeor.* 57(6):909-925.

García, E.; Vidal, R.; Cardoso, M. y Hernández, M. E, 1983. Las regiones climáticas de México. Memoria de IX congreso nacional de geografía. Sociedad mexicana de geografía y estadística. Guadalajara México, pp. 123-130.

Greer, D. H. y Weedon, M. M. 2012. Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant cell environ.* 35(6):1050-1064.

Guzman-Morales, J. and Gershunov, A. 2019. Climate change suppresses Santa Ana winds of Southern California and sharpens their seasonality. *Geophysical Res. Letters* 46(5):2772-2780.

Hanson, B. S.; Grattan, S. R. y Fulton, A. 2004. Agricultural Salinity and drainage. Water management handbook series. publication 3375. University of California. Davis, California, 157. p.

Hidalgo, L. 1980. Caracterización microfísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. Comunicaciones I. N. I. A., Serie Producción Vegetal, N° 29. (Ed). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, 255 pp.

Horneck, D. S.; Ellsworth, J. W.; Hopkins, B. G.; Sullivan, D. M. and Stevens, R. G. 2007. Managing salt-affected soils for crop production. Oregon State University, Washington State University. Pacific Northwest Extension Publication PNW 601-E pp 12-15.

Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France. 64:1117–1126.

Jackson, D. I. and Coombe, B. G. 1988. Early bunch stem necrosis a cause of poor set. Proceedings 2nd International Symposium of cool climate viticulture and oenology, january, 1988, auckland, new zealand, NZ society for viticulture and oenology. 72-75. pp.

Jackson, D. I. and Lombard, P. B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. Am. J. Enol. Viti. 44(4):409–430.

Johnstone, J. A. and Dawson, T. E. 2010. Climatic context and eco-logical implications of summer fog decline in the coast redwood region. Proc. Nat. Acad. Sci. 107(10):4533-4538.

Jones, G.; Duff, A. A.; Hall, A. and Myers, J. W. 2010. Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *Am. J. Enol. Viti.* 61(3):313-326.

Knipper, K. R.; Kustas, W. P.; Anderson, M. C.; Alfieri, J. G.; Prueger, J. H.; Hain, C. R.; Gao, F.; Yang, Y.; McKee, L. G.; Nieto, H. and Hipps, L. E. 2019. Evapotranspiration estimates derived using thermal-based satellite remote sensing and data fusion for irrigation management in California vineyards. *Irri. Sci.* 37(3):431-449.

Knipper, K. R.; Kustas, W. P.; Anderson, M. C.; Nieto, H.; Alfieri, J. G.; Prueger, J. H.; Hain, C. R.; Gao, F.; McKee, L. G.; Alsina, M. M. and Sanchez, L. 2020. Using high-spatiotemporal thermal satellite ET retrievals to monitor water use over California vineyards of different climate, vine variety and trellis design. *Agricult. Water Manag.* 241:106361.

Lewis, J.; Koracin, D.; Rabin, R. and Businger, J. 2003. Sea fog off the California coast: Viewed in the context of transient weather systems. *J. Geophys. Res.: Atmos.* 108(6):1-17

Maderey, L.E. 1975. La humedad y la vegetación en la península de Baja California. *Invest. Geog.* 6:73-85.

Pérez-Villegas, G. 1988. El viento superficial en el noroeste de México. *Inves. Geográ.* 18:31-49.

Saayman, D. 1982. Soil preparation studies: II. The effect of depth and method of soil preparation and of organic material on the performance of *Vitis vinifera* (var. Colombar) on Clovelly/Hutton soil. S. Afr. J. Enol. Vitic. 3(2):61-74.

Salgado-Tránsito, S.; Vélez, O. P.; Spínola, A. G.; Gavi, F. y Mejía, E. 2012. Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. Rev. Mex. Cien. Agrí. 3(1):79-95.

Samani, Z. 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological Data. J. Irrig. Drain. Engng. 126(4):265-267.

Snyder, R. L. and Eching, S. 2002. Penman-Monteith daily (24-hour) reference evapotranspiration equations for estimating ETo, ETr and HS ETo with daily data. Regents of the University of California pp. 1-5.

Stevens, R. M.; Harvey, G. and Aspinall, D. 1995. Grapevine growth of shoots and fruit linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potential. Aust. J. Grape wine res. 1(2):58-66.

Tramontini, S.; Leeuwen, C.; Domec, J. C.; Destrac-Irvine, A.; Basteau, C.; Vitali, M.; Mosbach-Schulz, O. and Lovisolo, M. 2013. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development. Plant and Soil 368(1):215–230.

USDA. 2006. United States Department of Agriculture, Soil Mechanics Level 1. Module 3-USDA, Textural Soil Classification Study Guide.

Valenzuela-Solano, C.; Ruiz-Corral, J. A.; Ramírez-Ojeda, G. y Hernández-Martínez, R. 2014. Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México. *Rev. Mex. Cien. Agrí.* 5(SPE10):2047-2059.

White, R. E. 2009. *Understanding vineyard soils*. Oxford University Press, Oxford, UK, 267 p.

Williams, L. E.; Dokoozlian, N. K. and Wample, R. L. 1994. Grape. In: shaffer, B. and anderson PC (Ed) *handbook of environmental physiological of fruit crops. Temperate crops, Vol 1*. CRC Press, Orlando. 83–133. p

Winkler, A. J.; Cook, J. A.; Kliewer, W. M. and Lider, L. A. 1974. *General viticulture*. Berkley, University of California Press. 710 p.

Zarrouk, O.; Brunetti, C.; Egipto, R.; Pinheiro, C.; Genebra, T.; Gori, A.; Lopes, C. M.; Tattini, M. and Chaves, M. M. 2016. Grape ripening is regulated by deficit irrigation/elevated temperatures according to cluster position in the canopy. *Front. Plant Sci.* 7:1640.

Tabla 2.1 Características fisicoquímicas de muestras de suelo de Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST). Se determinó la saturación de agua, conductividad, pH, concentración de calcio, magnesio, sodio, carbonatos, cloruros, sulfatos, sólidos disueltos totales, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable y materia orgánica.

Localidad	Clase textual	Saturación (%)	Conductividad (dSm ⁻¹)	PH	CA (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	HCO ₃ (ppm)	Cl (ppm)	SO ₄ (ppm)	RAS	PSI (%)	MO (%)
VG	Franco	31.0	0.80	7.98	79.4	39.4	16.7	298.9	56.6	21.1	0.22	0.10	1.61
std	Areno	1.4	0.23	0.16	19.3	17.7	12.6	40.1	11.1	6.9	0.05	0.10	0.60
SAM	Franco	30.1	0.59	7.47	137.1	113.0	45.9	244.4	54.7	29.5	1.20	0.99	1.90
std	Areno	1.9	0.20	0.40	19.2	4.2	31.2	66.2	17.1	28.9	0.52	0.29	0.45
SV	Franco-Franco	29.8	1.52	7.93	102.0	87.0	65.0	204.0	310.1	235.2	1.40	1.39	1.78
std	Arcilloso	4.2	0.44	0.30	30.9	16.9	52.0	20.0	28.7	59.3	0.70	0.16	0.50
ST	Franco	32.2	2.97	7.57	273.1	155.4	70.5	355.0	351.2	232.8	1.60	1.21	2.66
std		0.56	2.04	0.60	66.6	63.25	63.0	71.0	306.4	78.2	0.13	0.20	0.62

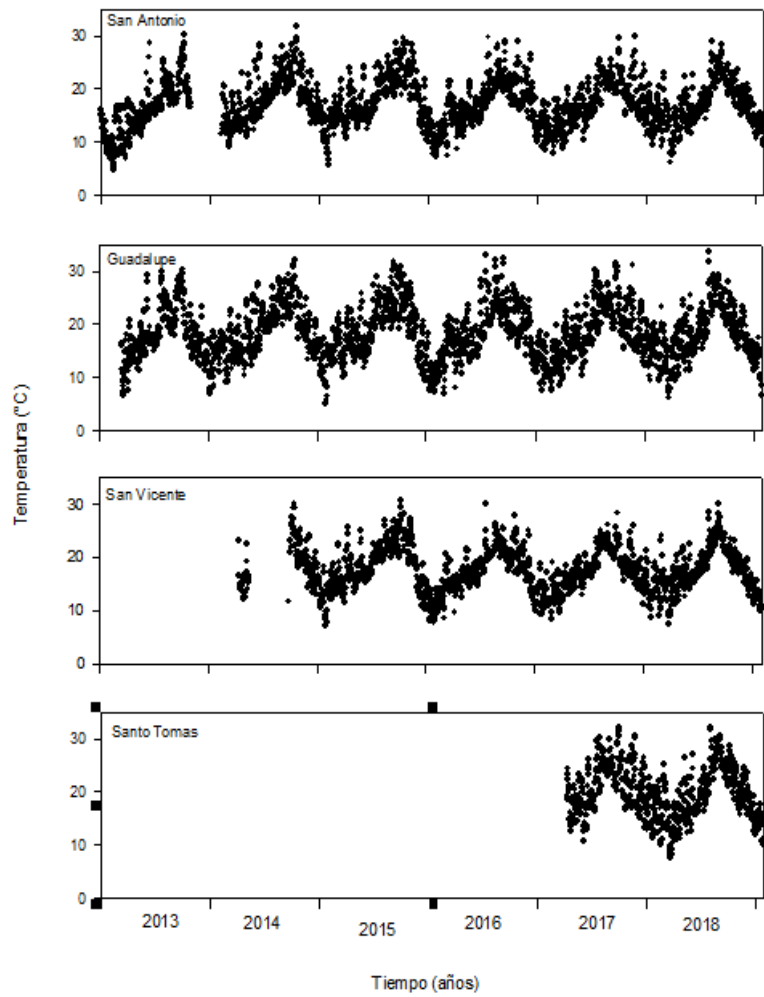


Figura 2.1. Series de tiempo para la temperatura promedio diaria en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

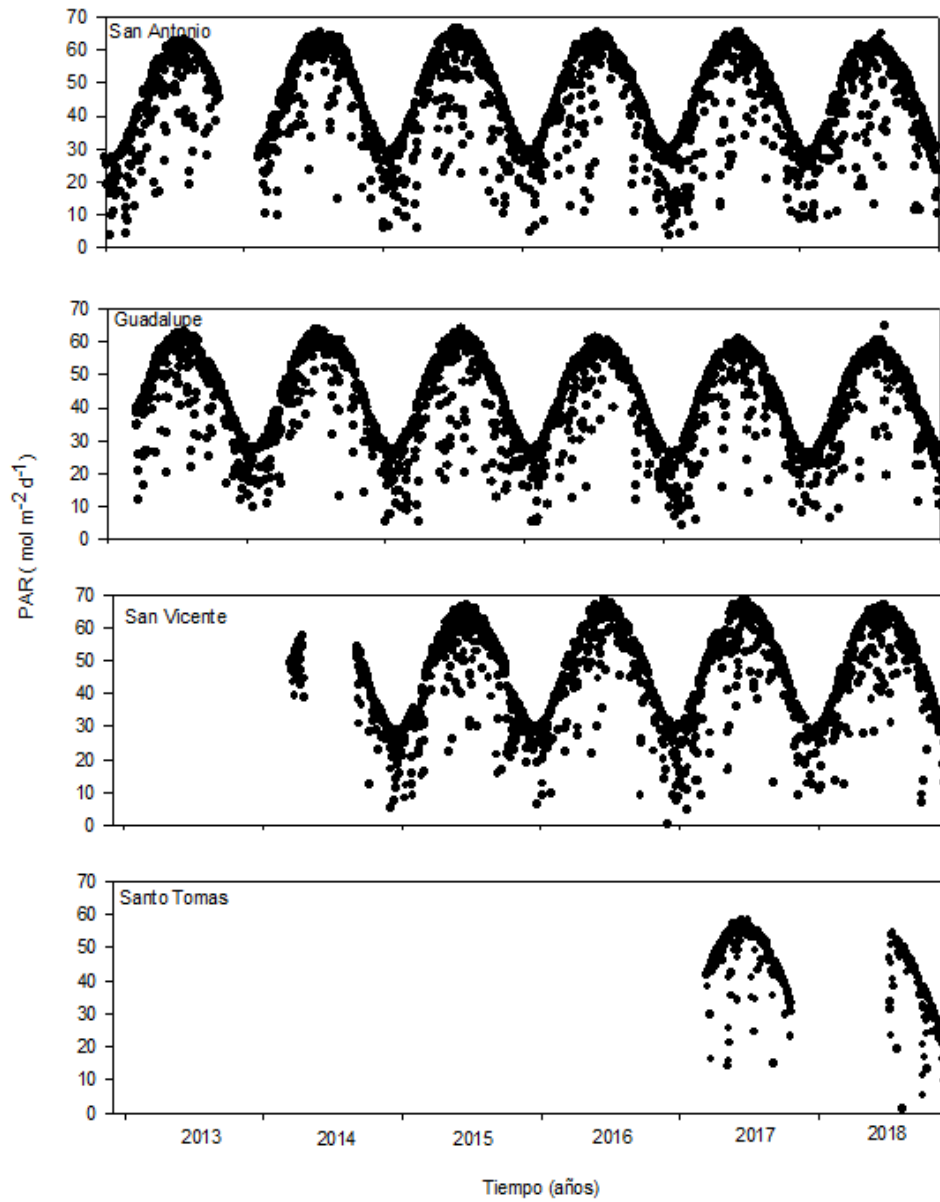


Figura 2.2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) diaria en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

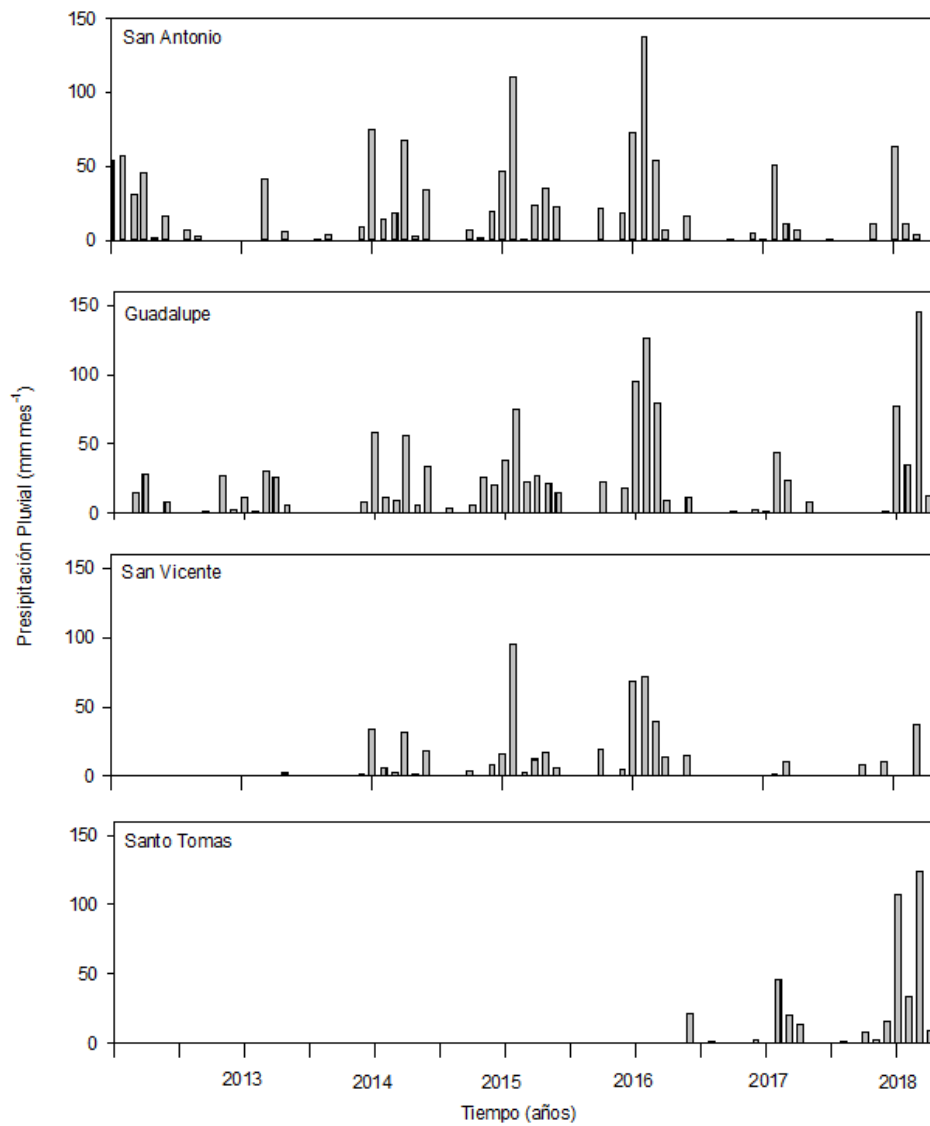


Figura 2.3. Precipitación pluvial diaria en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

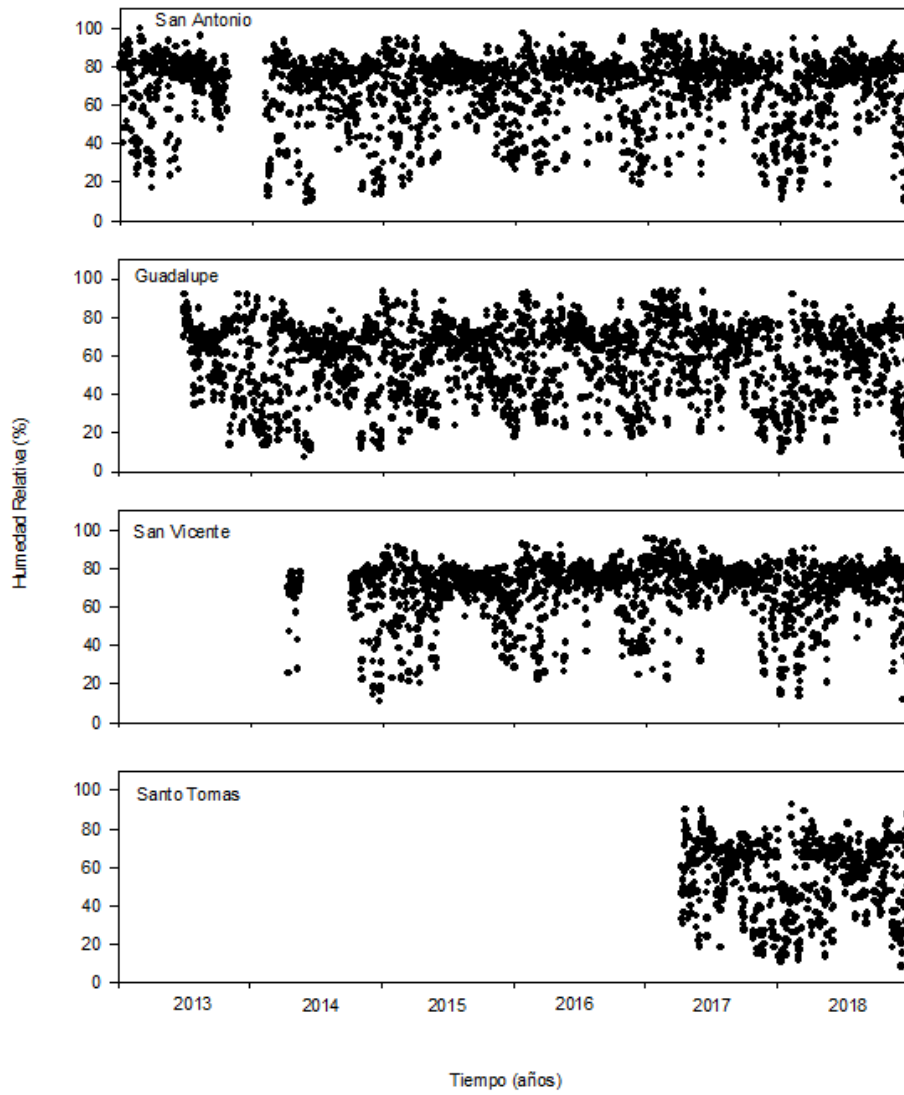


Figura 2.4. Promedio diario de humedad relativa en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

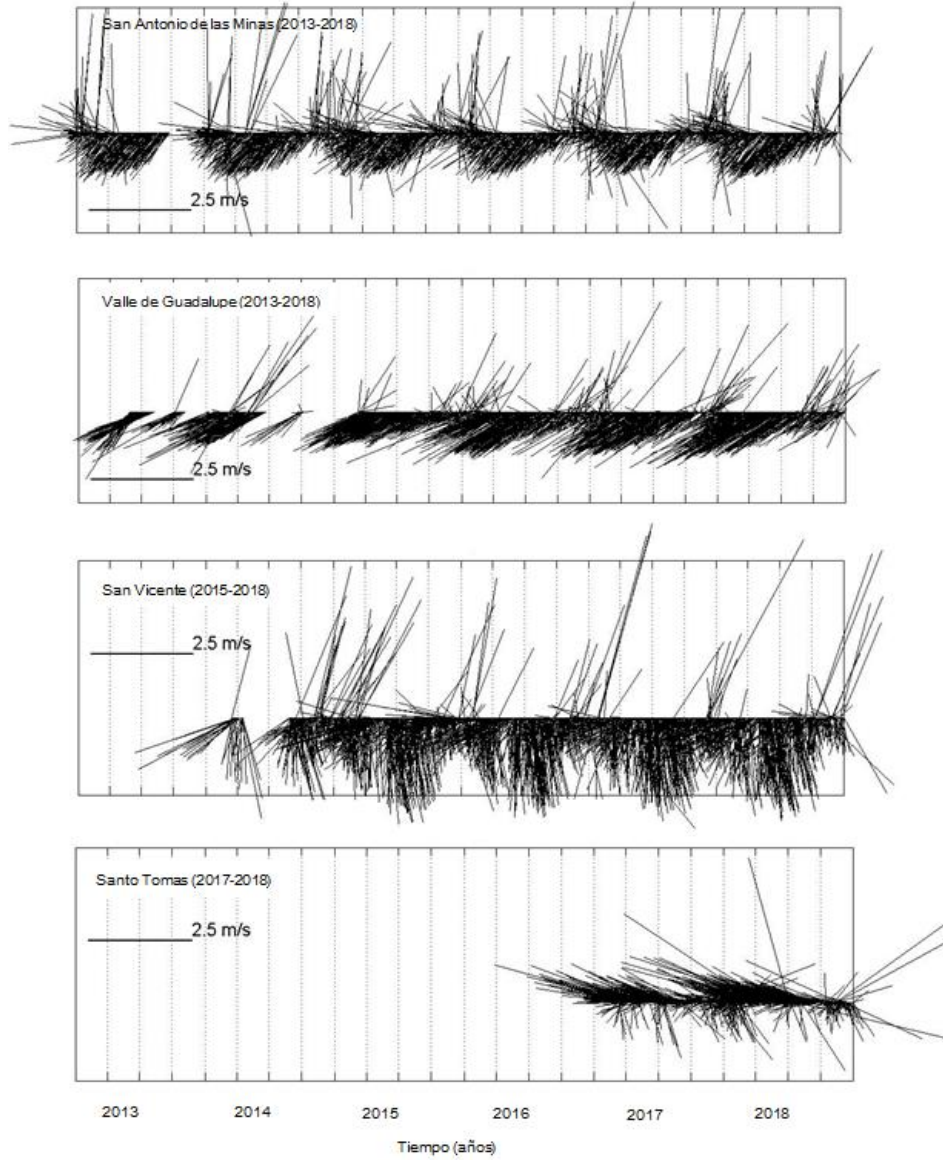


Figura 2.5. Dirección y velocidad (m s^{-1}) del viento en San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

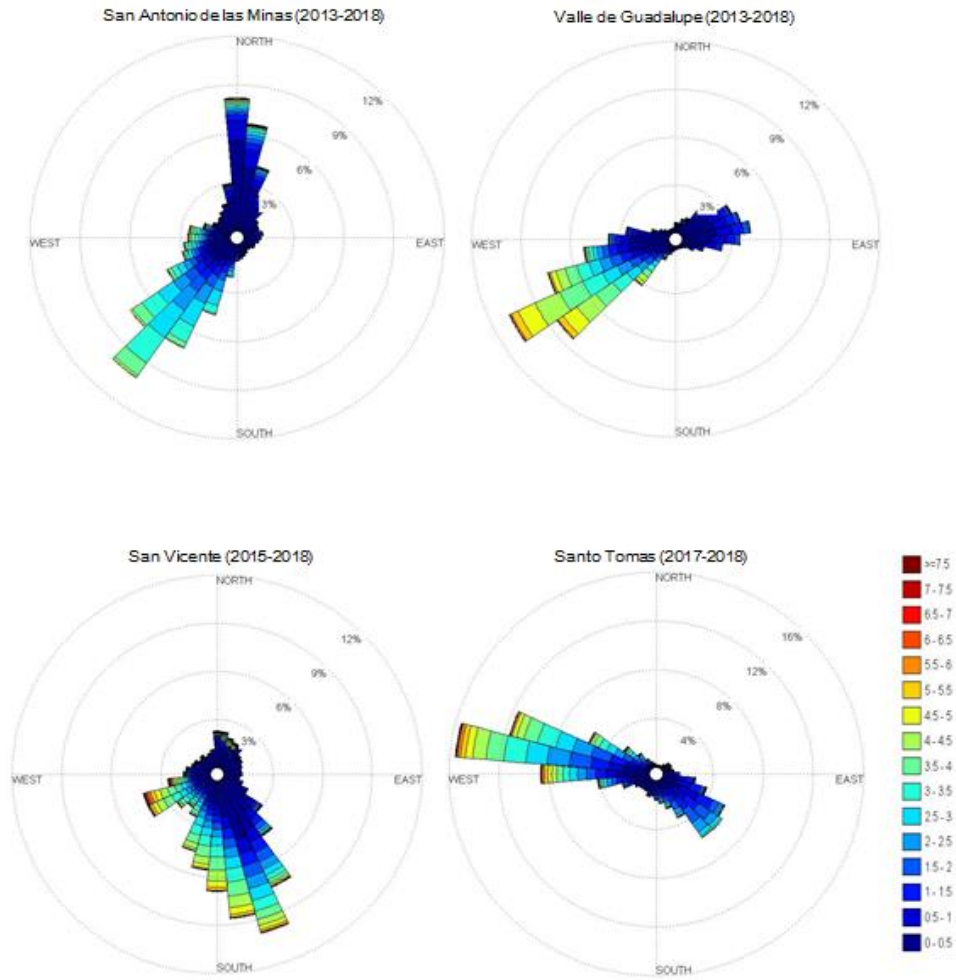


Figura 2.6. Rosas de viento, frecuencia (%) y velocidad (m s^{-1}) para San Antonio de las Minas y el Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

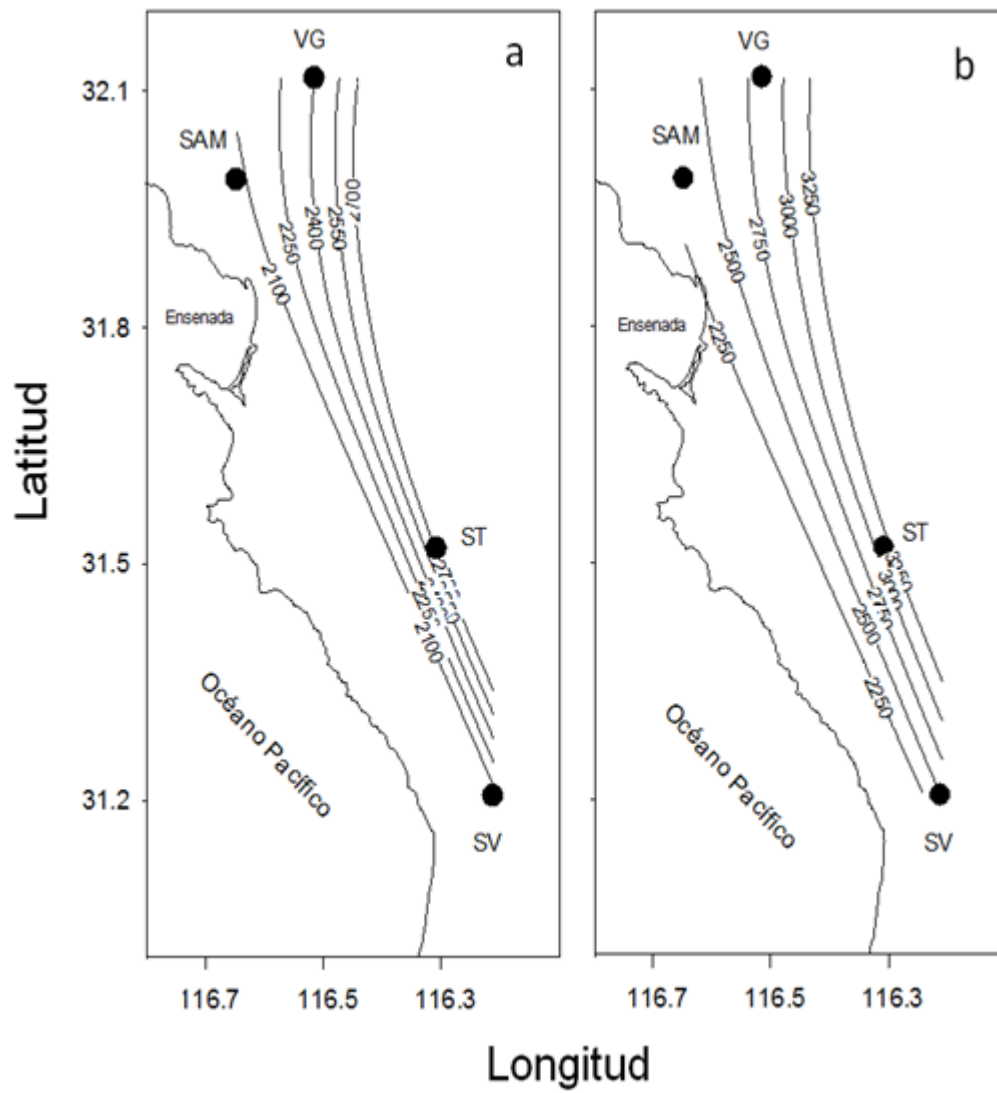


Figura 2.7. Gráficas de isolíneas para los grados día de crecimiento (GDD) e índice de Huglin para el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST), durante 2018.

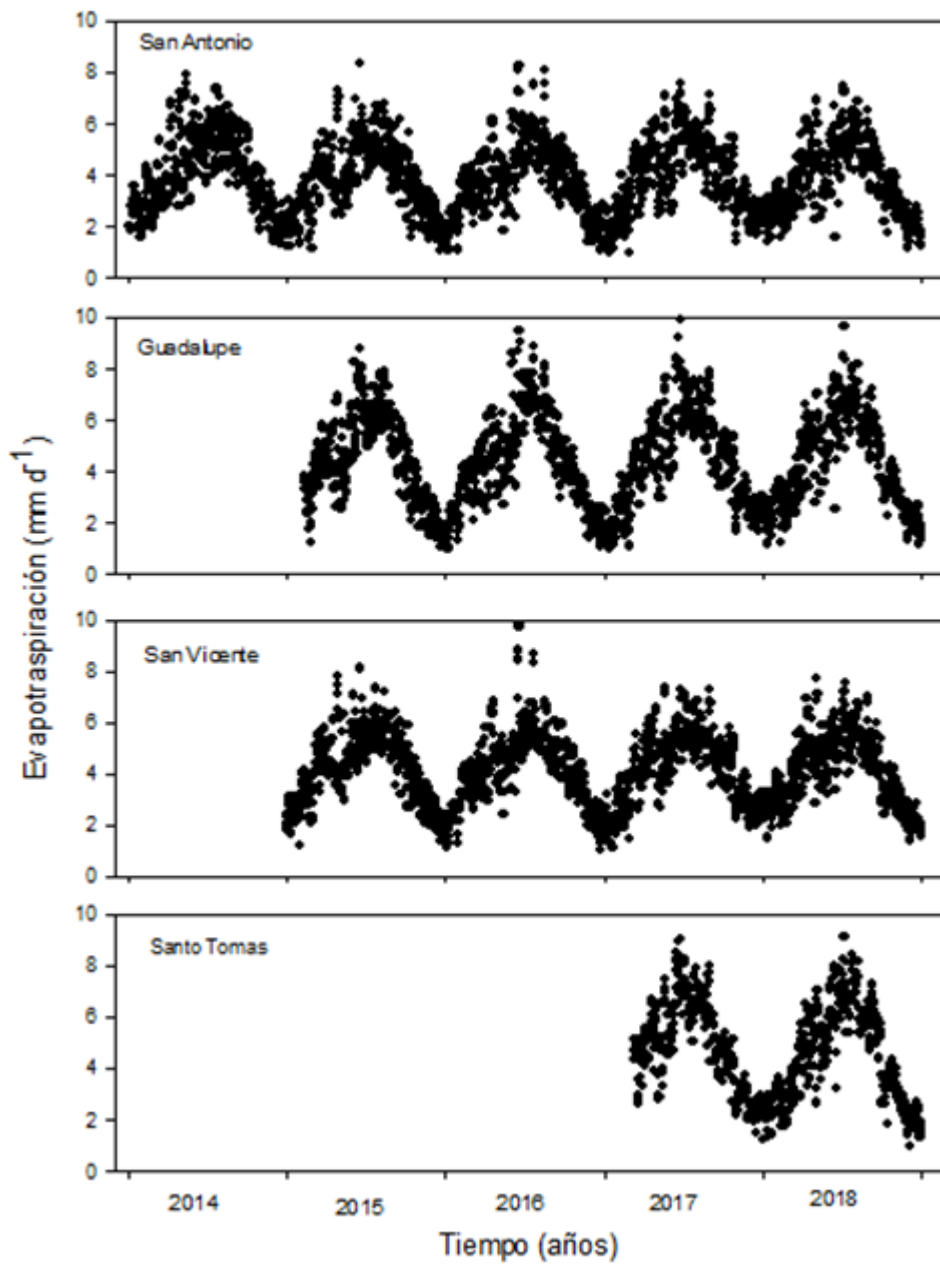


Figura 2.8. Evapotranspiración (mm d⁻¹) para San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, San Vicente y Santo Tomás.

Capítulo 3. Efecto de las Variables Meteorológicas Sobre las Características Físicoquímicas de la uva para Vino en Baja California

RESUMEN

Los índices climáticos se han usado alrededor del mundo para seleccionar el potencial climático de las diferentes regiones vinícolas y así producir vinos de alta calidad. La temperatura juega un papel crítico sobre la maduración y el balance químico de las frutas, incluyendo las uvas. Sin embargo, en México no se han realizado estudios para evaluar el efecto de la temperatura sobre la maduración de la uva para vino. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del clima sobre la composición química de las uvas a lo largo de su maduración en valles vitivinícolas de Baja California. Se evaluaron variables climáticas utilizando estaciones meteorológicas, y se midió la concentración de sólidos solubles, acidez total, pH y la concentración de nitrógeno asimilable por levaduras en el mosto de uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Syrah, Tempranillo y Grenache. La acumulación de grados días varió significativamente entre los diferentes valles vitivinícolas estudiados. Se observó una mayor acumulación de calor en los valles de Santo Tomás y Guadalupe con relación a los valles de San Vicente y San Antonio de las Minas. La tasa de incorporación de SST fue más rápida en localidades menos cálidas (SAM y SV), mientras que la tasa de acumulación de SST más lenta se observó en las localidades más cálidas (ST y VG). La acidez total del mosto varió significativamente en todas las variedades de uva de todos los valles estudiados. Sin embargo, las características climáticas de cada región tienen un efecto similar sobre la concentración de AT (síntesis y degradación de ácido málico).

INTRODUCCIÓN

El clima juega un papel fundamental sobre el desarrollo fenológico de la vid y la maduración de las bayas (Mullins *et al.* 1992, Jones 2007, Cabello-Pasini *et al.* 2017). Por lo anterior, factores climáticos como la temperatura promedio, temperaturas máximas y mínimas, precipitación pluvial, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, entre otros, son considerados durante la plantación de un viñedo. A partir de estos parámetros climáticos, se han desarrollado diferentes indicadores o índices para evaluar y clasificar la estructura del clima en las regiones vinícolas del mundo. Estos parámetros incluyen el índice de Winkler (Winkler *et al.* 1974) y el índice de Huling (Huglin 1978). Estos índices se han usado alrededor del mundo para seleccionar el potencial climático de las diferentes regiones que permiten el cultivo de las variedades de uva con las características adecuadas para producir vinos de alta calidad (Amerine y Winkler 1944, Winkler *et al.* 1974, Huglin 1978). A escalas más pequeñas (mesoclima), el clima es afectado por diferentes factores como la topografía y la cercanía a cuerpos de agua como ríos, lagos u océanos. Por otro lado, la topografía o los cuerpos de agua modifican la temperatura a partir del patrón de vientos y de neblinas (Bonneffoy *et al.* 2013, Hall y Jones 2010).

Al igual que otros cultivos, la vid requiere condiciones muy específicas de temperatura durante la etapa de crecimiento y maduración. Las tasas fotosintéticas en las hojas de uva Trebbiano, por ejemplo, disminuyeron significativamente al aumentar la temperatura de 20 a 35 °C (Ferrini *et al.* 1995). Por otro lado, la acumulación de sólidos solubles y la síntesis de antocianos en las uvas es impactado por la temperatura promedio de crecimiento (Arrizabalaga *et al.* 2018, Cabello-Pasini *et al.* 2017). Por lo anterior, además del clima general, el mesoclima regional es crítico para establecer el potencial de crecimiento de la

vid y maduración de las bayas. En México se han desarrollado una gran cantidad de estudios relativos al clima y su impacto sobre cultivos de cereales, legumbres y verduras. Sin embargo, no se han publicado estudios en relación al impacto del clima sobre la fisiología y maduración de la uva para vino.

El efecto de eventos extremos que se superponen a las variaciones climáticas estacionales tiene un impacto drástico sobre el desarrollo de las plantas, incluyendo la vid. Entre los parámetros climáticos de extrema variabilidad, se considera que la temperatura es el principal factor que afecta la tasa de desarrollo de las plantas. Se ha demostrado, por ejemplo, que la aceleración del metabolismo, así como una serie de desórdenes fisiológicos en cereales y plantas de hoja ancha son inducidos por estrés térmico en el campo (Hartfield y Prueger 2005, Jenni 2015). De igual manera en la vid, altas temperaturas durante el periodo de maduración promueven un incremento en la concentración de azúcares (Kliewer 1973) y una fuerte disminución en la concentración de ácidos. La reducción en la concentración de ácidos totales se debe en gran medida al incremento del metabolismo y al catabolismo del ácido málico (Jackson y Lombard 1993). Por lo anterior, los viticultores deben adaptar sus prácticas de cultivo de acuerdo a las condiciones cambiantes de cada zona (Webb *et al.* 2007, Hall y Jones 2010). No obstante, la importancia del clima sobre el desarrollo de la vid y la maduración de la baya, no hay estudios que evalúen el efecto de la temperatura sobre la maduración de las diferentes variedades de uva en Baja California.

La producción de uva para vino en Baja California se desarrolla en valles viticulturales que cuentan con diferentes condiciones climáticas (Macías-Carranza y Cabello-Pasini 2021). Estas diferencias climáticas pueden impactar la fisiología y maduración de las diferentes uvas utilizadas para la producción de vino. Por lo anterior, el objetivo del trabajo

fue evaluar el efecto de la acumulación de calor en los valles vitivinícolas de Baja California sobre la maduración de uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se evaluaron viñedos comerciales de uva para vino en el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM), Santo Tomás y el valle de San Vicente, Baja California (Fig. 1). Se evaluó la maduración de uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache desde el envero hasta la cosecha.

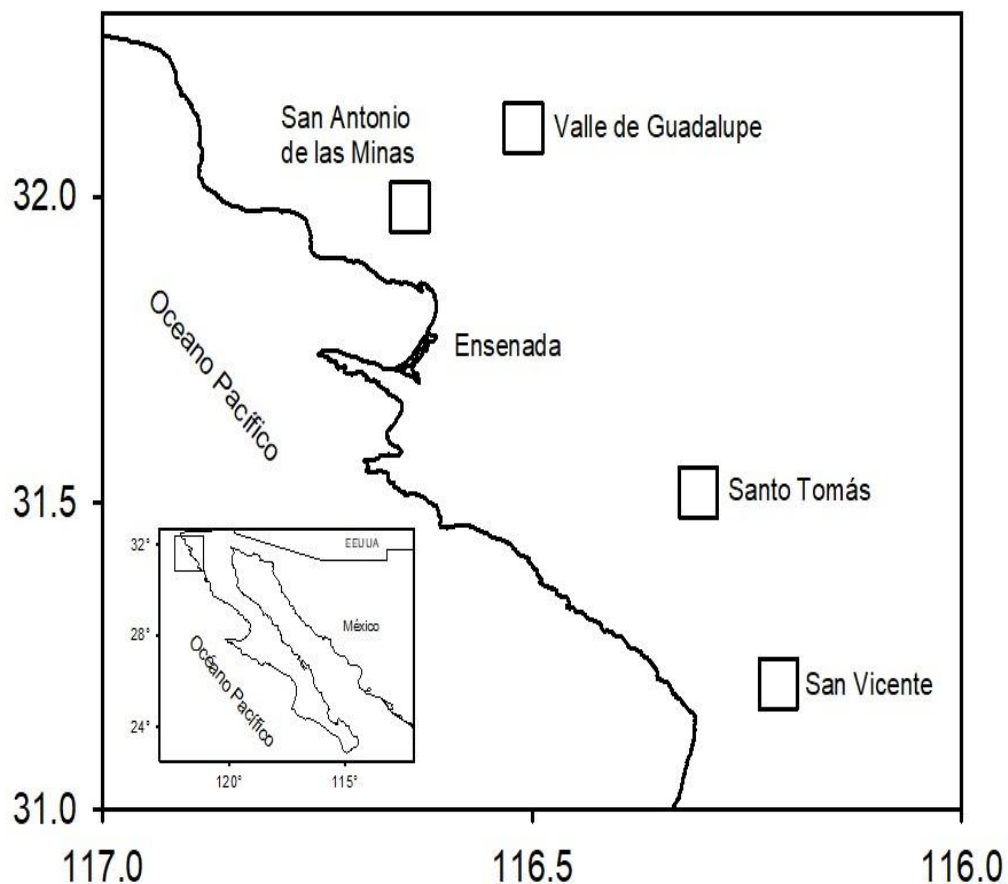


Figura 3.1.- Localización de los valles vitivinícolas de San Antonio de las Minas, Valle de Guadalupe, Santo Tomás y San Vicente, Baja California, México

Datos climatológicos

Los datos climáticos se evaluaron cada 15 minutos usando estaciones meteorológicas (HOBO-U30, ONSET, USA) localizadas en cada uno de los viñedos. La temperatura y la humedad relativa se evaluaron con un sensor mixto HOBO-SJ BM002. La precipitación pluvial se determinó con un sensor HOBO-RG3M y la radiación fotosintéticamente activa

(PAR) se determinó con un sensor HOBO-SLIM-003. Los sensores se ubicaron a 2.5 m sobre el suelo. Se calcularon los índices bioclimáticos Grados Día (GGD) e Índice de Huling (HI) para cada una de las zonas estudiadas (Macías-Carranza y Cabello-Pasini 2021, Winkler *et al.* 1974, Huglin 1978).

Análisis de las bayas

Las muestras de uva de Cabernet sauvignon, Merlot, Syrah, Grenache, Nebbiolo y Tempranillo, fueron colectadas semanalmente a partir de la fecha de envero. Se recolectaron al azar aproximadamente 250 bayas de cada cultivar. Las uvas se recolectaron en ambas zonas de los pasillos, en la parte interna y externa del dosel, y de la parte superior e inferior de los racimos. Las uvas se estrujaron manualmente y se maceraron por 1 h. El mosto resultante fue clarificado mediante centrifugación (6,000 x g, 1 min) y se determinó la concentración de sólidos solubles con un refractómetro de mesa Abbe (Fisher Scientific Co.). La acidez total, se cuantificó con una titulación potenciométrica con NaOH 0.1 N. El nitrógeno disponible para la fermentación (YAN) se determinó por el método del formaldehído, seguido de una titulación potenciométrica con NaOH 0.01 N, y el pH del mosto se determinó con un potenciómetro (Thermo Orion 410) de acuerdo a la Organización Internacional de la Vid y el Vino (OIV 1990).

Análisis estadístico

Las diferencias estadísticas de los índices bioclimáticos y de las características fisicoquímicas de las uvas se determinaron mediante un ANDEVA después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos. Todas las comparaciones múltiples de promedios se realizaron con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de correlación para los índices climáticos, se obtuvieron por medio de un análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la viticultura, la distribución espacial del mesoclima en cada región es fundamental para determinar la compatibilidad y el potencial del cultivo de vid. Por lo anterior, se han desarrollado índices que combinan las características climáticas para determinar el potencial agrícola de una región (Carbonneau 2003). Los índices más usados para determinar el potencial de cultivo de la vid son los grados día de crecimiento (GDD), el índice de Huling (HI), los grados biológicamente efectivos (BEDD) y la temperatura promedio de crecimiento (GST). Todos estos índices, están basados principalmente en la temperatura ambiental y en la duración del día por lo que generalmente presentan una buena correlación entre ellos. En el oeste de Estados Unidos, por ejemplo, se observó una correlación mayor a 0.88 entre todos los índices bioclimáticos (Jones *et al.* 2010). De igual manera, los índices climáticos para el sur de Australia presentaron una correlación mayor a 0.91 (Hall y Jones 2010). Similar a lo encontrado en otros estudios, la correlación entre los índices bioclimáticos analizados para los valles de Baja California tiene una correlación $r > 0.96$

(Fig 3.2). Las diferencias y similitudes entre las regiones en los índices bioclimáticos pueden ser descritas principalmente por el mesoclima, las características topográficas, la elevación, la pendiente y otros aspectos que se encuentren en el sitio (Bard *et al.* (2018). Por lo anterior, la correlación tan cercana (>0.96) entre los cuatro índices calculados en este estudio, sugiere que usando cualquiera de ellos se puede obtener una buena caracterización climática de las regiones vinícolas. Debido a la alta correlación entre los índices y su mayor uso en la literatura científica, los índices GDD y HI se utilizaron en el resto de los análisis en este estudio.

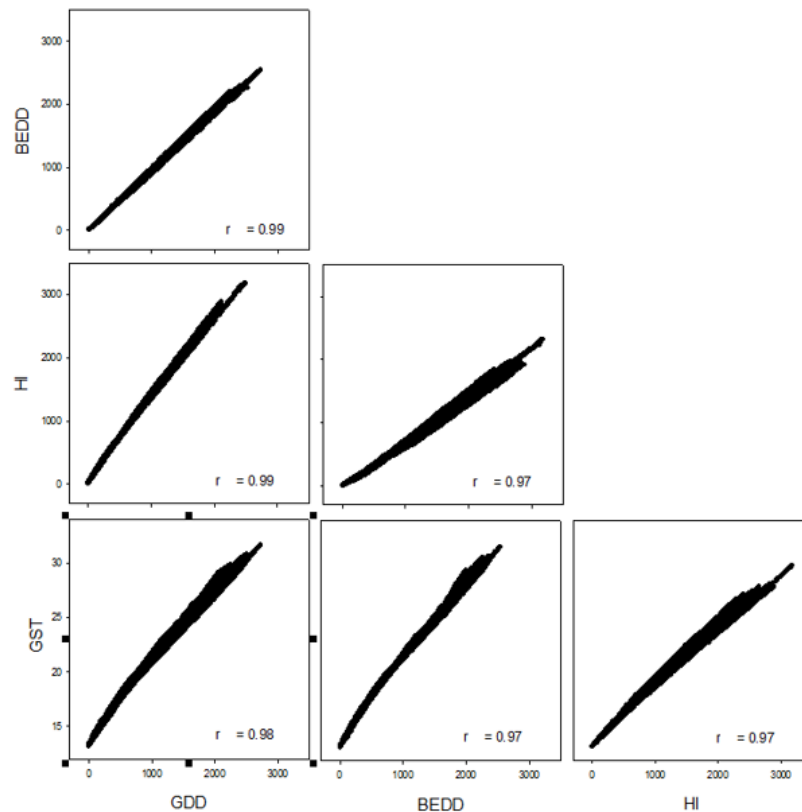


Figura 3.2. Correlación de Pearson entre los diferentes índices climáticos para las diferentes zonas de estudio

Los valores de los índices bioclimáticos mostraron diferencias significativas entre ellos, en relación a la zona de estudio y en relación al año muestreado (Tabla 3.1, Tabla 3.1S). Los valores de HI, GDD, BEDD y GST fueron significativamente ($p < 0.05$) menores en SAM y SV, mientras que los valores de estos índices fueron significativamente ($p < 0.05$) mayores en ST. Todos los índices mostraron una correlación significativa ($p < 0.05$) y positiva entre ellos con valores de r mayores a 0.97. Las correlaciones más altas ($r > 0.99$) se observaron para GDD vs. HI, y GDD vs. BEDD. Por lo anterior se utilizaron los índices de GDD y HI para el resto del estudio. Zonas con valores de GDD mayores a 2200 son consideradas demasiado cálidas para el cultivo de uva y producción de vino de calidad (Valenzuela-Solano *et al.* 2014).

Las características climáticas en las zonas de cultivo en Baja California, agrupan a SAM y SV con los menores índices bioclimáticos, mientras que ST y VG se presentan como las zonas con la mayor acumulación de temperatura. Este comportamiento es similar en las dos variedades de uva, este escenario supone regiones donde el cultivo de uva es cada vez más complejo y esto exigirá una mayor atención en su manejo para minimizar el efecto del clima local (Clingeffer 2010). Se ha demostrado que las zonas templadas tienden a producir uvas para vino con un balance químico más adecuado para la producción de vinos de calidad. Por lo anterior, los resultados de este estudio sugieren que San Vicente y San Antonio de las Minas son las zonas vitivinícolas más aptas para la producción de uva de calidad (Jones *et al.* 2010).

Tabla 3.1.- Índices bioclimáticos: Grados día (GDD), Índice de Huling (HI), índice de grados biológicamente efectivos (BEDD) y el índice de temperatura promedio de crecimiento por temporada (GST), calculados para cada una de las temporadas (2014-2018).

	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	
Guadalupe	2896	2821	2781	2844	2853	2477	2517	2407	2474	2402	2252	2361	2216	2266	2202	21.44	21.86	21.3	21.67	21.32	
San Antonio	2497	2415	2312	2356	2341	2212	2250	2084	2116	2069	2117	2205	2025	2025	2012	20.2	20.6	19.8	19.48	19.76	
Santo Tomas	a	a	3200	3264	3177	a	a	2700	2774	2729			2542	2539	2541				22.7	22.78	22.75
San Vicente	a	a	2492	2481	2146	a	2216	2014	1965	2039		2297	2093	2002	2146		21.28	20.39	20.13	20.51	

La acumulación de calor de los índices HI y GDD se incrementó a través del tiempo (Fig 3.3). El valle de ST se clasificó como muy caliente de acuerdo con los dos índices, mientras que SV y SAM se clasificaron como Templado Cálido de acuerdo a HI y en la Zona IV de acuerdo al índice GDD. El VG se clasifica como caliente de acuerdo al índice HI y dentro de la zona V de acuerdo al índice GDD. Se ha demostrado que existe una variación de la acumulación de calor entre diferentes zonas vitivinícolas aun cuando se encuentren a pocos kilómetros de distancia (Jones *et al.* 2010). Lo anterior coincide con lo observado en nuestro estudio es el resultado de las diferencias climáticas observadas entre los diferentes valles como resultado de su cercanía o distancia de la costa. Se considera que las zonas templadas a templado-cálidas son óptimas para el crecimiento de la vid y la producción de uva para vino de mejor calidad. Lo anterior se debe a que la maduración de la uva se lleva a cabo más lentamente y la uva tiene más tiempo de incrementar la concentración de ésteres y terpenos con aromas positivos, y reducir por otro lado los aromas negativos. Además, existe una mayor posibilidad de aumentar la polimerización de polifenoles de la semilla y que coincida con la maduración tecnológica de la uva (Fredes *et al.* 2010). Esta es la primera

clasificación de los valles vitivinícolas de Baja California y sugiere que SAM y SV son los valles con las mejores condiciones para el cultivo de uva para vino.

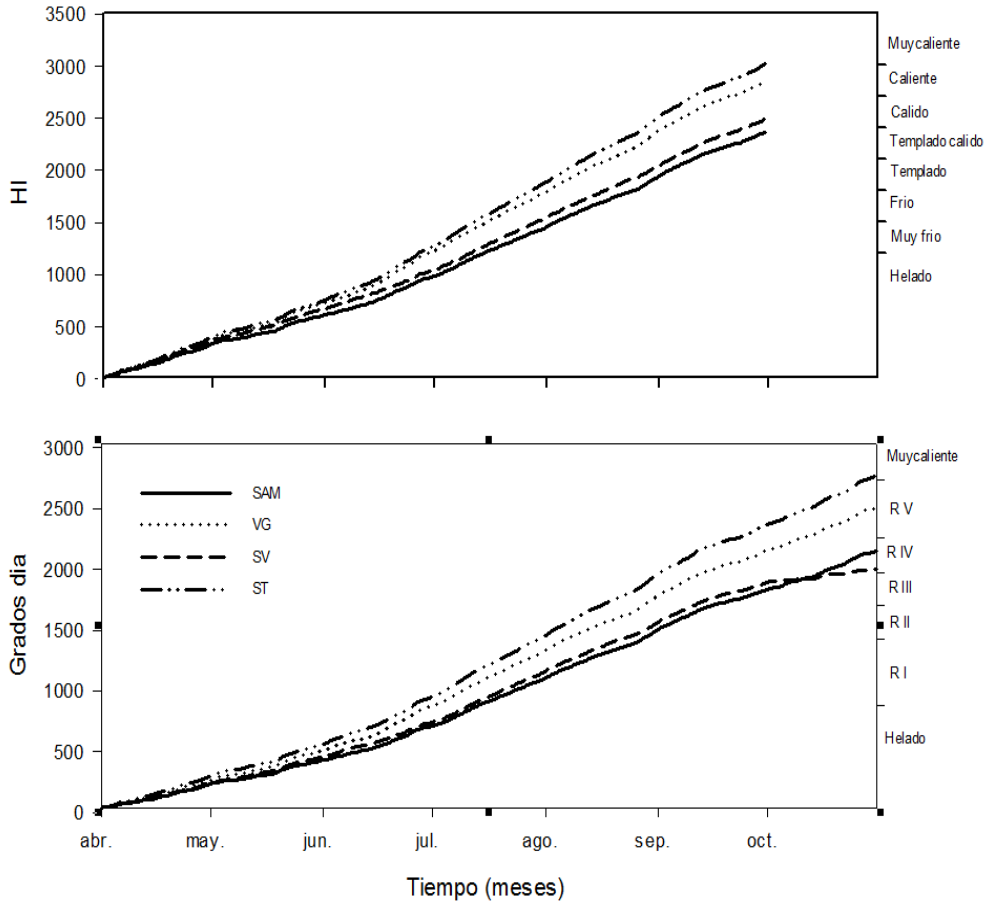


Figura 3.3.- Relación de acumulación de calor de los índices HI y GDD para San Antonio de las Minas (SAM), Santo Tomás (ST), San Vicente (SV) y Valle de Guadalupe (VG) durante 2017. En el eje derecho se muestran las categorías de los índices.

A lo largo de todo el periodo de estudio, las diferencias climáticas y de acumulación de calor a lo largo del periodo de maduración resultó en una variación significativa ($p < 0.05$) de AT, pH y YAN con relación a los sólidos solubles totales, así como una variación significativa entre AT y pH de los mostos (Fig 3.4). La concentración de ácidos orgánicos presentó un decaimiento exponencial a partir de aproximadamente 6% SST hasta aproximadamente 25% SST. La concentración de ácidos orgánicos fue aproximadamente 8-veces mayor antes del envero que al final de la maduración. Al contrario de la AT, el pH del mosto aumentó exponencialmente desde un pH de aproximadamente 2.5 antes del envero hasta valores cercanos a 4.0 al final de la maduración. Al igual que AT, la concentración de YAN en el mosto presentó un decaimiento lineal desde antes del envero (250 mg L^{-1}) hasta el final de la maduración (aprox. 100 mg L^{-1}). Los valores de YAN a lo largo del periodo de maduración mostraron una mayor variabilidad con relación a los valores de AT y pH. Los valores de pH decrecieron exponencialmente al aumentar la concentración de AT en el mosto. Finalmente, los máximos valores de pH se presentaron cuando la concentración de AT fue menores a 5 g L^{-1} , mientras que los menores valores de pH se presentaron cuando la AT superó los 40 g L^{-1} .

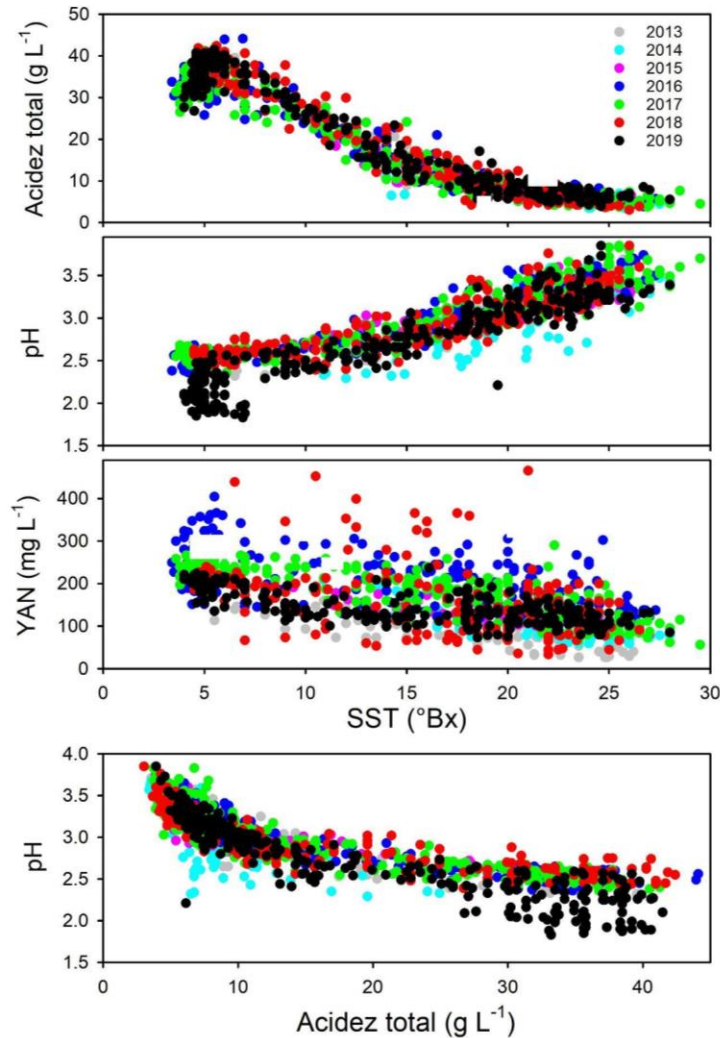


Figura. 3.4. Relación de los sólidos solubles totales vs. acidez total, pH y nitrógeno asimilable por levaduras; y relación de acidez total vs. pH para todas las uvas de todos los valles estudiados.

Las características fisicoquímicas del mosto, permiten caracterizar el grado de maduración de la uva y son utilizadas, especialmente los SST, en la vitivinicultura para determinar la fecha potencial de cosecha. La concentración de SST en las uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente se incrementó de manera sigmoïdal (Fig

3.5). El inicio de la acumulación de SST o envero, fue más temprano o con menos GDDs en Tempranillo que en el resto de las otras variedades de uva.

La concentración de los SST mostró un aumento sigmoideal durante el periodo de maduración de las uvas en los cuatro valles estudiados (Fig 3.5). La concentración de SST fue baja y sin cambio (aprox. 4 %) cuando los GDD fueron menores a 800°. A partir de los 800 GDDs, la concentración de SST aumentó linealmente hasta estabilizarse en aproximadamente 25 % a partir de los 1600 GDD. La concentración más elevada de SST fue de 30 % y se presentó para Grenache en ST. La concentración más baja se presentó en Nebbiolo y Syrah, en todas las localidades.

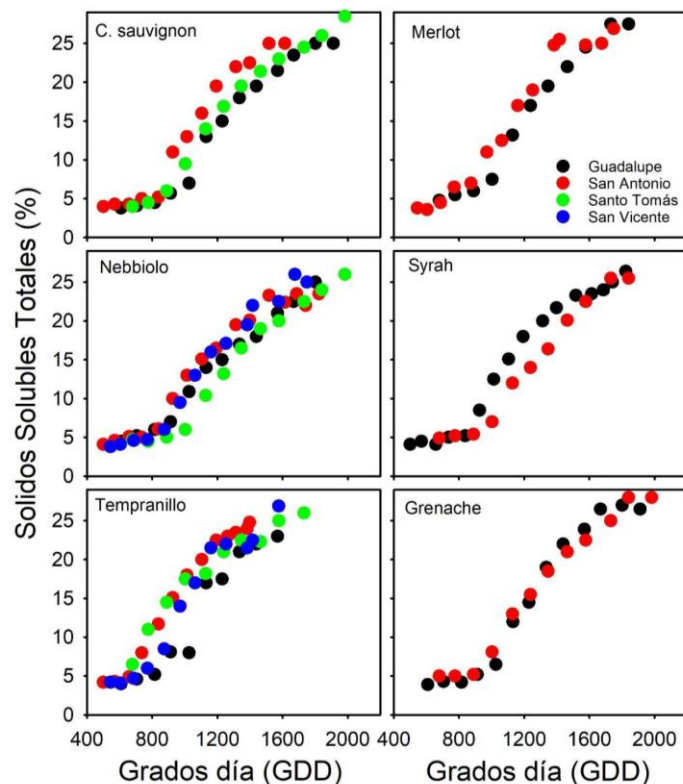


Figura 3.5. Relación de SST vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

El periodo de maduración de la uva inicia con una expansión de la fruta debido a una rápida acumulación de solutos, especialmente un aumento en la concentración de ácidos orgánicos (Conde *et al.* 2017). El aumento en la concentración de SST en la uva, se inicia después del envero, considerado como, el inicio en la maduración de la uva. Durante el periodo de maduración, se produce un aumento en la concentración de azúcares (SST) y simultáneamente un decremento en la concentración de los ácidos orgánicos (AT). Se determinó, por ejemplo, que la disminución en la concentración de la AT fue del 75%

cuando la concentración de SST alcanzó 22% en Cabernet franc (Matthews y Anderson 1988). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este trabajo, donde se presentó una pérdida de la AT del 73% a una concentración de 22% de SST en las variedades estudiadas. En climas cálidos, la disminución acelerada del ácido málico, promueve un desbalance entre la concentración de SST y AT (Conde *et al.* 2007). También se ha demostrado, que temperaturas mayores de 35 °C inhiben la fotosíntesis y disminuyen el crecimiento de las bayas e impide la acumulación de azúcares (Greer y Weedon 2013). Además, los golpes de calor en zonas cálidas promueven una deshidratación de las bayas y una aparente maduración. Este incremento de SST o maduración prematura de las bayas generalmente va acompañado de un desbalance de pH, falta de aromas positivos, exceso de aromas negativos, inmadurez de polifenoles de las pieles y semillas, etc. Por lo anterior, es claro que los procesos de maduración, incluyendo la acumulación de SST en las uvas, están controlados principalmente por las características climáticas de la zona y en particular por la temperatura.

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el inicio del envero y la maduración >20 °Bx entre las diferentes variedades de uva estudiadas y entre los valles vitivinícolas de zonas cálidas y templadas (Fig 3.6, Tabla 3.2S). En el promedio de 10 años en SAM, la uva Tempranillo inició el envero con una acumulación de grados día menor que el resto de las uvas estudiadas. En ST, no se observaron diferencias significativas del inicio del envero entre las diferentes variedades. La maduración a 20°Bx fue similar (para todas las variedades en SAM, sin embargo, la maduración a 20° Bx fue más pronta para la uva Tempranillo en ST.

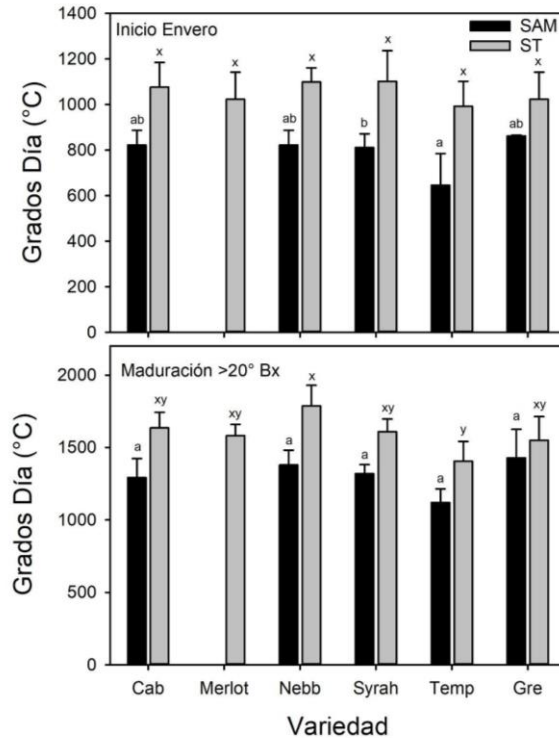


Figura 3.6. Grados día para el inicio de la maduración en uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.

De manera similar a los GDD, el envero de Tempranillo inició significativamente ($p < 0.05$) antes que en el resto de las variedades en SAM (Fig 3.7, Tabla 3.3S). De igual manera, el envero de Tempranillo se inició días antes en ST, sin embargo, no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto al resto de las variedades. La gran variabilidad en el inicio del envero y el fin de la maduración es el resultado de la variación de temperatura entre años como parte de las variaciones anuales climáticas. De manera similar a este estudio, se ha observado en Francia y España que la variación del inicio el envero, la maduración, la

composición química de las uvas y la calidad del vino producido está directamente ligada a la climatología específica de cada año de producción y específicamente a la temperatura (Camps y Ramos 2012, Jones y Davis 2000).

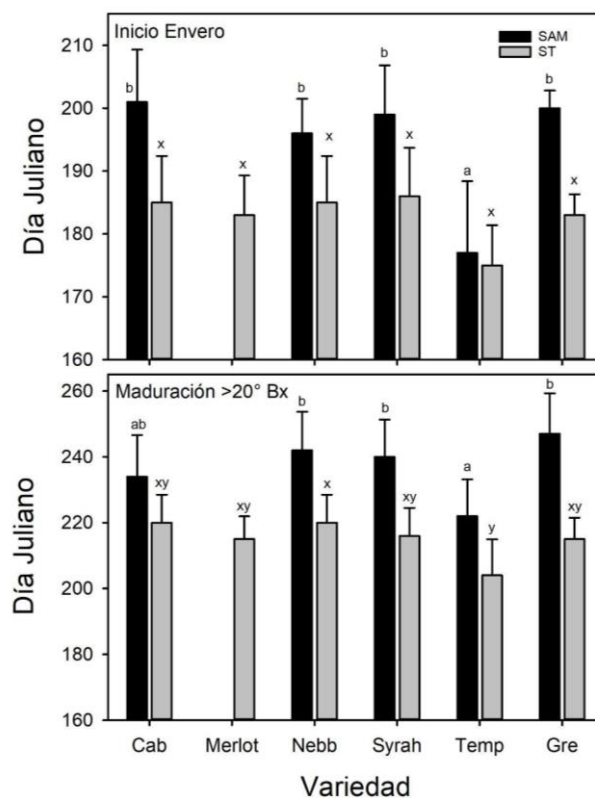


Figura 3.7. Día Juliano para el inicio de la maduración en uvas Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.

Al comparar el día Juliano y los grados día sobre el inicio del envero, la maduración a 20 °Bx, y el periodo de maduración en Tempranillo y Nebbiolo para SAM y ST, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$, Fig 3.8, 3.4S). No se observaron diferencias

significativas en el día de inicio del envero de Tempranillo entre SAM y ST, sin embargo, el envero inició con mayor número de GDD en ST ($p < 0.05$). La maduración a 20 °Bx se alcanzó más rápidamente ($p < 0.05$) y con mayor número ($p < 0.05$) de GDD en ST que en el resto de las zonas vitivinícolas. Finalmente, el número de días de maduración (maduración a 20 °Bx - envero) fue menor en ST, sin embargo, no se observaron diferencias significativas (Tabla 3.4S). La zona de ST es significativamente más cálida que SAM por lo que la acumulación de calor es más rápida en ST. Claramente, esta acumulación de calor está impactando la fisiología de la vid y específicamente la maduración de la uva Tempranillo.

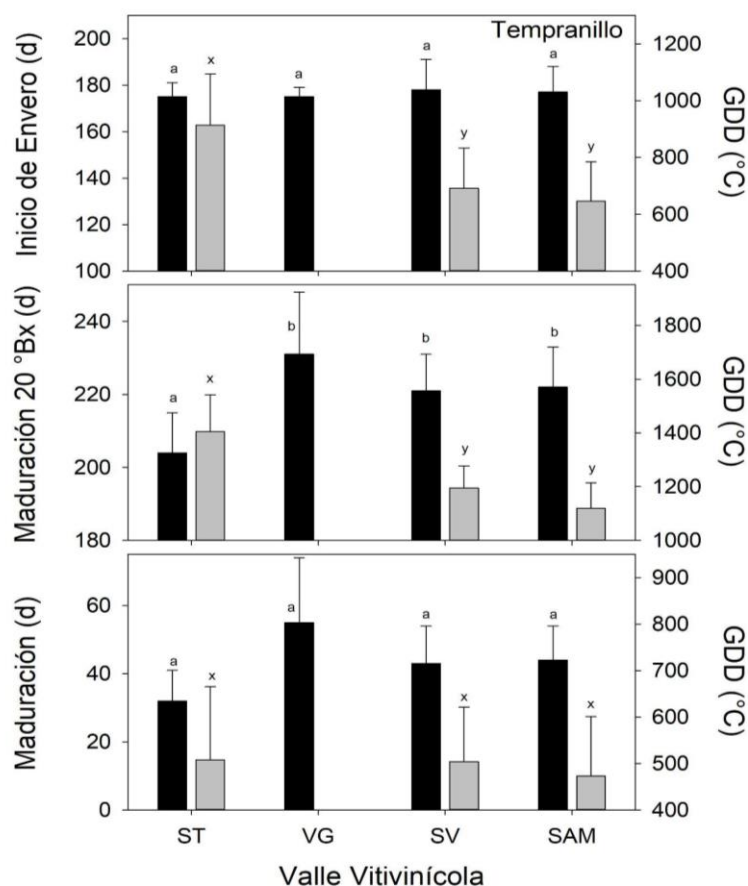


Figura 3.8. Día Juliano (barras negras) y Grados Día (barras grises) para el inicio de la maduración, La maduración hasta los 20 °Bx y el periodo de maduración

desde el inicio del envero hasta la maduración a 20 °Bx en uvas Tempranillo en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.

De manera similar a la uva Tempranillo, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el día juliano del inicio del envero de la uva Nebbiolo entre los diferentes valles, sin embargo, la acumulación de GDD fue significativamente mayor en ST (Fig 3.9, Tabla 3.5S). La maduración a 20 °Bx fue más temprano en el año y con mayor acumulación de calor para Nebbiolo en ST que en el resto de las zonas vitivinícolas estudiadas. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los días o GDD para la maduración de la uva Nebbiolo en todos los valles estudiados.

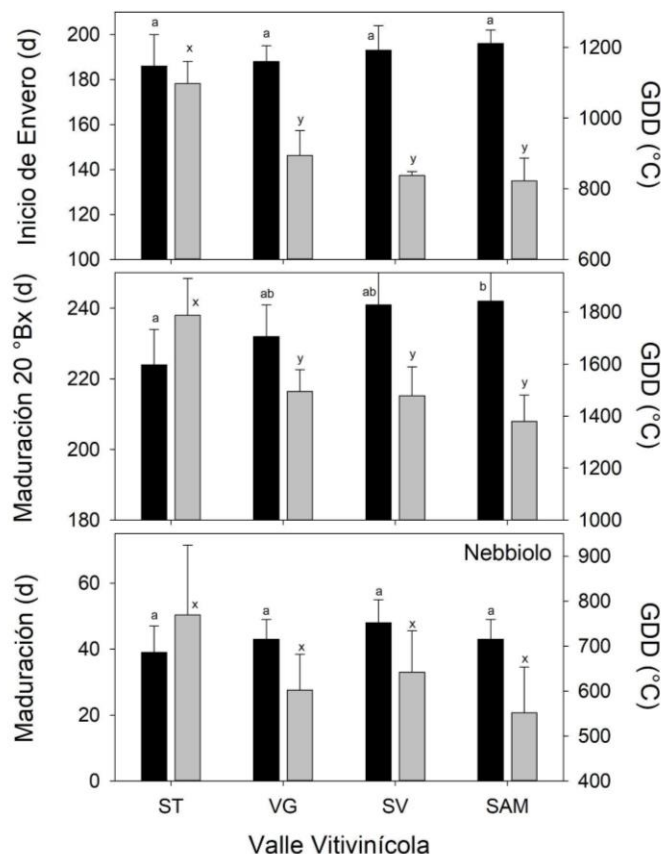


Figura 3.9. Día Juliano (barras negras) y Grados Día (barras grises) para el inicio de la maduración, la maduración hasta los 20 °Bx y el periodo de maduración desde el inicio del envero hasta la maduración a 20 °Bx en uvas Nebbiolo en San Antonio de las Minas y Santo Tomás, Baja California.

Al contrario de la concentración de sólidos solubles, la concentración de ácidos orgánicos disminuyó significativamente ($p < 0.05$) a lo largo del periodo de maduración para todas las variedades de uva de todas las zonas estudiadas (Fig 3.10). Se observó un incremento de la AT cuando los valores de SST eran menores de 7% para los mostos de SAM, ST y SV. Sin embargo, la acidez total del mosto mostró un decaimiento exponencial

($p < 0.05$) en los cuatro valles estudiados después de los 7% de SST. Los mayores valores de AT (45 g L^{-1}) se presentaron en los mostos de SV. En general, la AT del mosto de las uvas de todos los valles terminó en aproximadamente 5 g L^{-1} al momento de la cosecha.

La acidez total del mosto varió significativamente en todas las variedades de uva de todos los valles estudiados (Fig 3.7). Inicialmente, la concentración de AT aumentó al aumentar los GDD de 400 y 800° y posteriormente se observó un decaimiento exponencial hasta el final de la maduración. La mayor concentración de AT ($>40 \text{ g L}^{-1}$) se observó en el mosto de Cabernet sauvignon en SAM. Por el contrario, los valores más bajos se encontraron alrededor de los 5 g L^{-1} en todas las variedades y para todas las localidades cuando los GDD superaron 1400-1600. Tempranillo presentó la menor concentración de AT aproximadamente 200 GDD antes que el resto de las variedades.

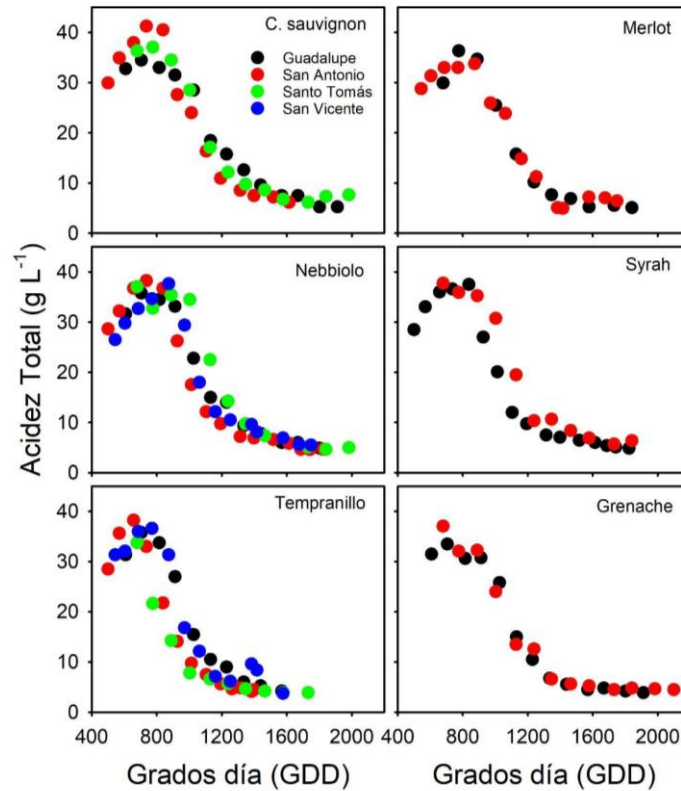


Figura 3.10.- Relación de AT vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

En general, existe una relación muy estrecha entre la concentración de SST y la AT de todas las variedades estudiadas y en todos los valles vitivinícolas (Fig 3.11). Se observó de manera consistente, una mayor acumulación de ácidos orgánicos al inicio del enero en las uvas de los valles más templados (SV y SAM) que en los más cálidos (ST y VG).

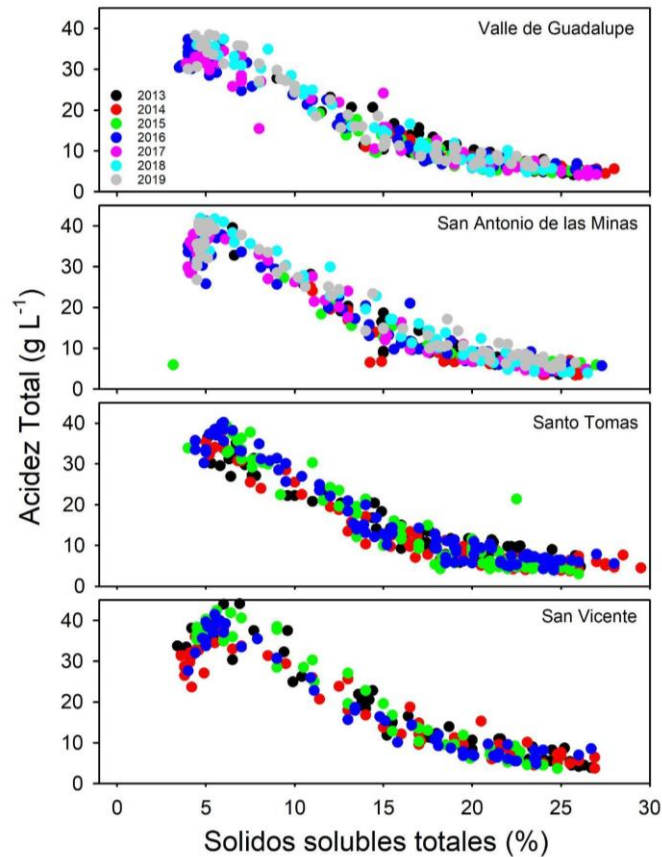


Figura 3.11.- Relación entre la AT vs SST para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

Durante la fase vegetativa de la uva, existe un aumento en la concentración de los ácidos orgánicos, estos ácidos son los principales contribuyentes de la AT. Después de este periodo, inicia una disminución exponencial en la concentración de la AT. En climas cálidos, la disminución del ácido málico por efecto de la respiración es mayor, a las tasas encontradas en climas más fríos. La concentración de la acidez total aumentó al inicio del periodo de maduración observado en este estudio está asociado principalmente al

crecimiento vegetativo de la uva y a la acumulación de ácidos orgánicos como se ha demostrado en otros estudios (Zhan *et al.* 2011). En ambos casos, se presentó la concentración de AT más alta, llegando hasta valores de 45 g L⁻¹ para SV y de 42 g L⁻¹ para SAM. Sin embargo, la AT no mostró un incremento al inicio del periodo de maduración para ST y VG, esto se debió a que el periodo vegetativo de la uva se presentó previo al inicio del muestreo. En ambos casos, la concentración al inicio del periodo fue menor a los 40 g L⁻¹. Después del envero, la concentración de la AT disminuyó exponencialmente con el aumento gradual de los SST. La disminución de la AT durante el periodo de maduración está relacionada con altas tasas de respiración que están reguladas por la temperatura (Jackson y Lombard 1993). Esto se observó en la localidad más caliente de la región (ST, Tabla 3.1), y donde se presentó la concentración más baja de AT (< 5 g L⁻¹.)

Los valores de pH presentaron un aumento exponencial durante el periodo de maduración (Fig 3.12, 3.13). El pH del mosto disminuyó ligeramente de aproximadamente 2.7 a 2.5 en todos los mostos entre 400 y 800 GDD. A partir de los 800 GDD, el pH del mosto aumentó hasta aproximadamente 3.6 cuando los valores de GDD superaron los 1600. Los valores de pH más elevados (3.9) se presentaron en Tempranillo y Cabernet sauvignon de SV. Por otro lado, los valores de pH más bajos (3.4) al final de la temporada de maduración se presentaron en el mosto de la uva Syrah.

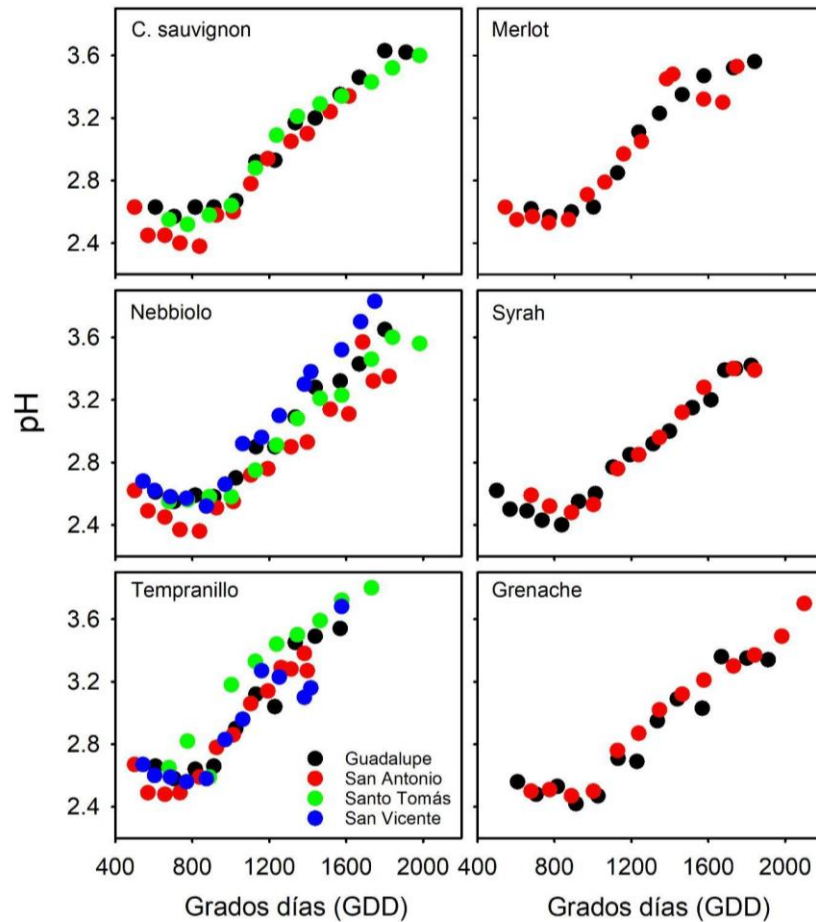


Figura 3.12.- Relación de pH vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

El pH del mosto de la uva mostró un aumento exponencial con relación a los SST para las cuatro localidades (Fig 3.13). Los valores de pH del mosto presentaron la mayor dispersión en el valle de Guadalupe con relación a las uvas de los otros valles. Los valores más elevados de pH y la mayor concentración de SST (29.5 g L^{-1}) se encontraron en el mosto de las uvas del valle de Santo Tomás.

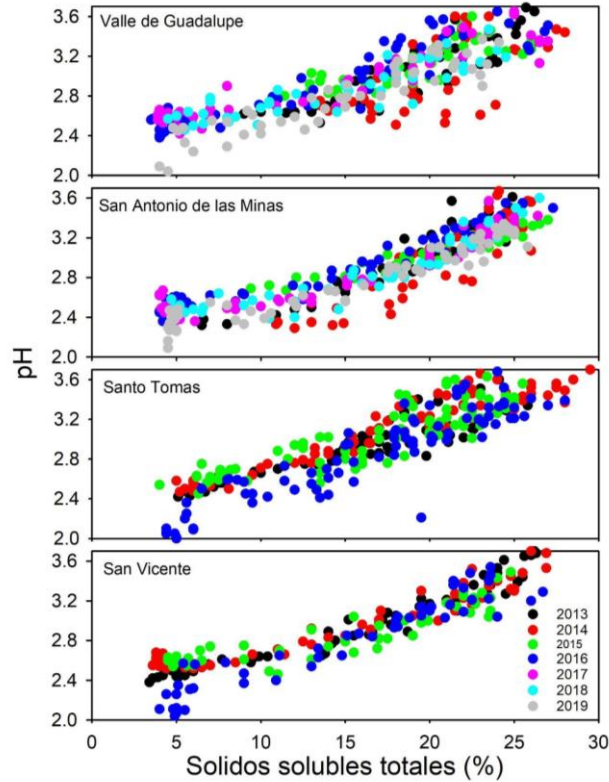


Figura 3.13.- Relación entre el pH y los SST para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

El aumento del pH durante en el periodo de maduración se ve acompañado con la disminución en la concentración de la AT. Esto se debe principalmente a la tasa de respiración de la uva. Sin embargo, Johnson y Nagel (1976) determinaron que la acumulación de potasio en la uva durante el periodo de maduración, afecta la concentración relativa de los ácidos, sales ácidas y sales y modifica los valores de pH. El potasio en las uvas, reacciona con los aniones de malato y tartrato, lo que resulta en la formación y precipitación de sales de malato y tartrato de potasio, disminuyendo la acidez y aumentando

el pH (Conde *et al.* 2017). Un descenso inicial de pH fue observado en todas las variedades y en todas las localidades de Baja California. Además, el descenso de pH coincide con un aumento inicial de la AT al inicio del crecimiento de las uvas. Después de esta fase inicial, las uvas inician el periodo de maduración (envero) que se refleja en una disminución de los ácidos orgánicos y un aumento en la concentración de SST (Coombe 1992, Cabello *et al.* 2017). La disminución de los ácidos orgánicos en las uvas es debida principalmente al catabolismo del ácido málico, el cual es usado como fuente de energía en los procesos de maduración (Coombe 1992). Sin embargo, se sabe que la temperatura controla el balance en la síntesis y catabolismo del ácido málico. En regiones frías, por ejemplo, la concentración de ácido málico es mayor que las uvas que maduran en regiones calientes (Coombe 1992). Lo anterior se debe a que la actividad de malato deshidrogenasa, la enzima encargada del catabolismo del ácido málico a piruvato, aumenta su actividad al aumentar la temperatura (Lakso y Kliewer (1975). Por esto, el aumento en la temperatura del medio ambiente durante el periodo de maduración, aumenta la actividad enzimática del malato deshidrogenasa, lo que resulta en una disminución en la concentración del ácido málico y la concentración total de ácidos orgánicos. El catabolismo del ácido málico resulta en un incremento de oxalacetato y piruvato, que finalmente son utilizados como sustratos para mantener la respiración a través del ciclo de Krebs. Adicionalmente, durante el proceso de maduración, la disminución del ácido málico, derivó en el aumento progresivo del pH y una rápida acumulación de azúcares (glucosa y fructosa). Previo a este aumento, se observa una fase donde la concentración de SST se mantiene constantes identificando esta etapa como el crecimiento vegetativo de la uva. El aumento de los valores de pH para ST aumentaron desde el 5 % de SST, esto se debió a que el periodo vegetativo de la uva se presentó previo al inicio del muestreo. Mientras que la concentración del ácido tartárico se mantiene

relativamente constante a lo largo de la maduración, la variación del ácido málico es la que determina el cambio en el pH. Por ejemplo, Langridge y McWilliam (1967) determinaron que temperaturas bajas incrementan la solubilidad del CO₂, lo que inhibe la descarboxilación promoviendo la síntesis de ácido málico. Esto concuerda con los valores más bajos de pH que se observaron en las localidades más templadas (SV y SAM). Por el contrario, bajo condiciones de temperatura más cálidas, propician la disminución de los ácidos, el aumento en el pH y prolonga la fase de incorporación de azúcares en las uvas (Ruffner 1982).

Al igual que la AT, la concentración de YAN en el mosto, mostró una disminución lineal en relación a los SST para las cuatro localidades (Fig 3.13, 3.14). La menor concentración de YAN se observó en SAM con valores aproximados de 25 mg L⁻¹, mientras que la concentración más alta se presentó en VG con valores superiores a los 380 mg L⁻¹. En general la concentración de YAN presentó la dispersión de los valores más alta de todas las variables fisicoquímicas con relación a los SST.

La concentración de YAN disminuyó en relación al aumento de los GDD (Fig 3.9). La concentración de YAN en los mostos de las uvas de todos los valles mostró una mayor dispersión con relación a la concentración de SST, AT y pH. Se observó un decaimiento lineal de la concentración de YAN en los mostos de todos los valles estudiados a partir de los 800 GDD hasta la época de cosecha (>1600 GDD). En general, los mayores valores de YAN (aprox. 275-300 mg L⁻¹) se presentaron los mostos de Tempranillo y Nebbiolo. Sin embargo, la concentración más baja se observó en Tempranillo (75 mg L⁻¹) cuando se alcanzaron valores mayores a los 1600 GDD.

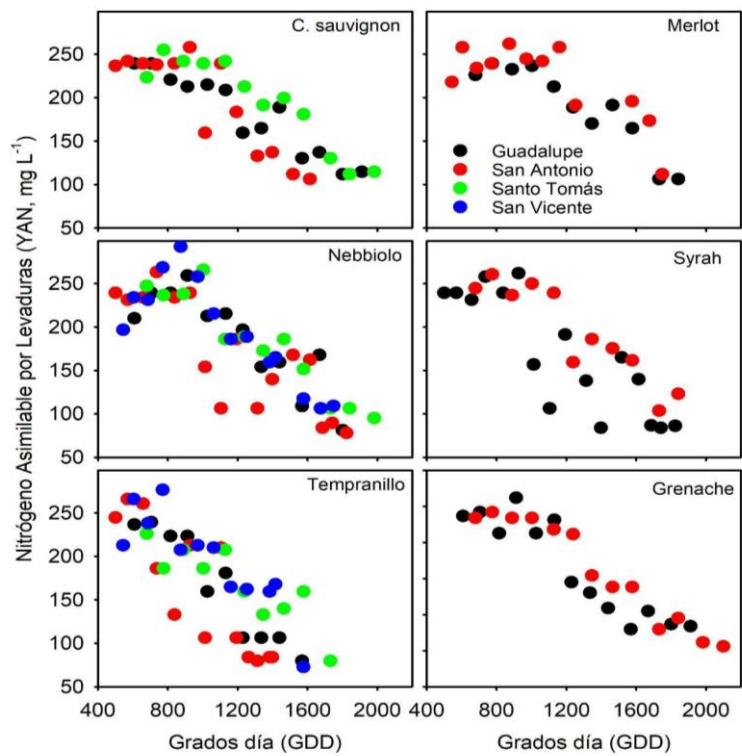


Figura 3.14.- Perfiles de YAN vs GDD para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

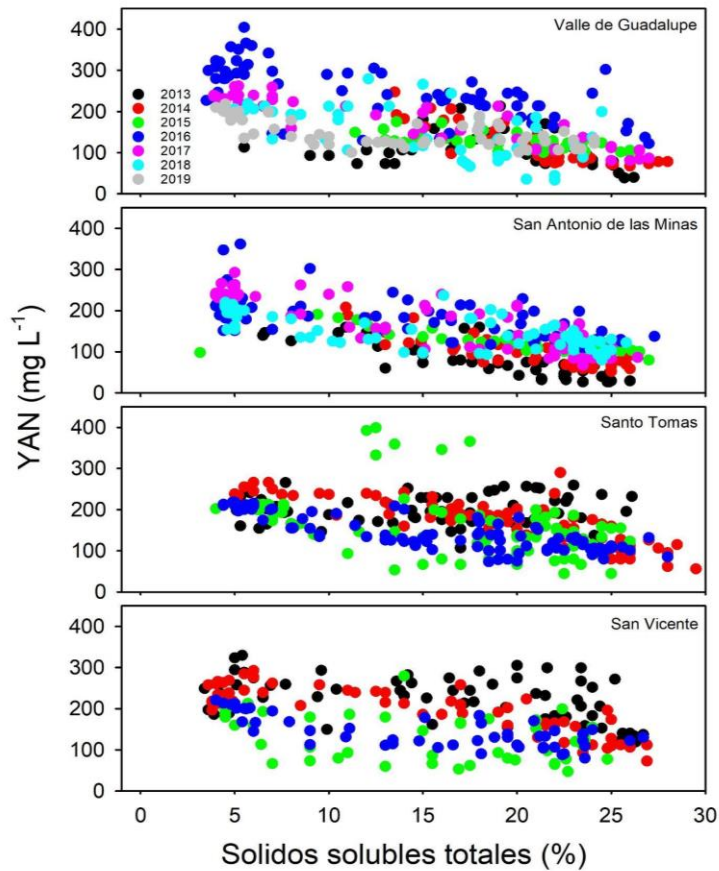


Figura 3.15.- Relación entre la concentración de sólidos solubles totales (SST) vs nitrógeno asimilable por levaduras (YAN) para Cabernet sauvignon, Merlot, Nebbiolo, Syrah, Tempranillo y Grenache en el Valle de Guadalupe, San Antonio de las Minas, Santo Tomás y San Vicente.

Al igual que todas las plantas, la vid requiere de nitrógeno para su crecimiento. Una deficiencia de nitrógeno, puede detener el desarrollo de la planta y por lo tanto el proceso de maduración. Por otro lado, un exceso de este puede prolongar el crecimiento de la planta,

retardando la maduración y disminuyendo la concentración de azúcar en el fruto (Delgado *et al.* 2004). El nitrógeno contenido en las bayas, puede variar su concentración durante la maduración entre los 100 y 1200 mg L⁻¹. Esto es consistente con nuestros resultados, ya que se presentó una disminución lineal del nitrógeno en relación al aumento en la concentración de SST durante el proceso de maduración. Específicamente, la concentración de nitrógeno disponible para las levaduras (YAN) está compuesto de nitrógeno aminado libre (aminoácidos y péptidos), amonía y amoniaco. La concentración de YAN en el mosto es crítica para asegurar que las levaduras llevan a cabo una fermentación adecuada de los mostos (Childs *et al.* 2015). Se ha demostrado, por ejemplo, que en concentraciones de YAN en los mostos menores a 200 mg L⁻¹, la fermentación se puede detener y causar aromas indeseables por la generación de compuestos sulfurados (Kunkee 1991, Childs *et al.* 2015). En este estudio, la gran mayoría de los mostos de uva de todos los valles presentaron concentraciones menores a 200 mg L⁻¹. Por lo anterior, los recurrentes problemas de fermentaciones lentas o atoradas observadas en las vinícolas de Baja California probablemente sean el resultado de una deficiencia de nitrógeno (baja concentración de YAN) en los mostos durante las fermentaciones. La concentración de nitrógeno disponible para la planta, corresponde a la respuesta en crecimiento y rendimiento. En general los efectos del nitrógeno, están en función de las características genéticas, condiciones climáticas y las prácticas de cultivo. Específicamente, la concentración de nitrógeno disponible para las levaduras (YAN) está compuesto de nitrógeno, aminoácidos, amoniaco y amonio. Bell y Henschke (2005) encontraron que los aminoácidos varían considerablemente en concentración, composición para cada variedad, portainjertos, condiciones de cultivo y nivel de madurez. Mientras que existe una disminución del YAN durante la maduración, se sabe que la fertilización con nitrógeno aumenta la concentración

de YAN y de nitrógeno total (Bell 1994). La concentración de YAN durante la época de muestreo, presentó una disminución de tipo lineal hacia el final de la maduración en SAM, SV, ST y VG, esto concuerda con lo observado en otros estudios (Bell 1994). Por otra parte, la gran dispersión de los datos presente en todas las variedades y en todos los valles, probablemente se debieron a la incorporación de nitrógeno como resultado de eventos de fertilización (Bell y Henschke 2005). Resultados similares fueron encontrados por Hanam (2013) quien, tras fertilizar bajo las mismas condiciones en diferentes años, el YAN presentó variaciones mayores al 40%.

El crecimiento y desarrollo de las vides, está relacionado principalmente a las condiciones del clima que se presentan durante el año en la zona de cultivo (Jackson y Lombard 1993). La temperatura es la variable climática que más efecto tiene en el crecimiento, desarrollo y maduración de la uva. El análisis de la temperatura y de los parámetros fisicoquímicos (SST, AT, pH y YAN), han sido determinantes para establecer el desarrollo de las plantas y los posibles efectos en las fenofases, para diversas variedades de uva (Sadras y Moran 2013). En este estudio, la concentración de SST en las uvas aumentó de forma exponencial a lo largo del periodo de maduración en SAM, SV, ST y VG. Los SST en Tempranillo, llegaron a la concentración de cosecha (25 %) con la menor acumulación de grados día (1600). Se ha demostrado que Tempranillo es una de las variedades que maduran más temprano en la temporada, seguida de Merlot (Wolkovich *et al.* 2017). Por el contrario, Cabernet sauvignon y Nebbiolo presentan tiempos de maduración más tardíos que Tempranillo. La concentración de SST al final del periodo de maduración en todas las variedades logró alcanzar 25 %. Sin embargo, las tasas de acumulación en cada una de las localidades fueron diferentes. La tasa de incorporación de

SST fue más rápida en localidades menos cálidas (SAM y SV), mientras que las tasas de acumulación de SST más lenta se observaron en las localidades más cálidas (ST y VG). Las temperaturas cálidas a calientes aceleran el crecimiento y la maduración de las uvas, sin embargo, al superar el límite de los 35 °C la asimilación de los azúcares se reduce. Se ha demostrado que vides expuestas a temperaturas elevadas (40°C) reducen la tasa de incorporación de azúcares hasta en un 50 %, ya que existe una inhibición de los procesos fotosintéticos, principalmente una carboxilación limitada (Greer y Weedon 2013). Alleweldt *et al.* (1982) encontraron que la temperatura de 25 °C es óptima para la fotosíntesis, sin embargo, se ha demostrado que entre 18 y 33 °C se presenta una eficiencia fotosintética del 90 %. Esto es consistente con las temperaturas más elevadas que se presentan en ST y VG en contraste con SAM y SV, en donde son más templadas.

La composición química de la uva, depende de las características del medio ambiente, principalmente del clima y de la variedad de la uva. Durante el proceso de maduración, la concentración de ácido tartárico permanece relativamente constante, mientras que el ácido málico modifica su concentración (Jackson y Lombard 1993). Kliewer (1971) encontró que a temperaturas bajas (20 °C) las uvas terminan su periodo de maduración con AT elevadas (>6 g L⁻¹). Por el contrario, las uvas que maduran en regiones con temperaturas elevadas (30 °C) son cosechadas con niveles bajos de AT (< 4 g L⁻¹). Sin embargo, en nuestro estudio, la temperatura no aparentó tener un efecto visible, ya que la concentración de AT no presentó diferencias significativas entre las localidades (SAM y SV con clima cálido, y VG y ST con clima caliente). Esto indica que las características climáticas de cada región tienen un efecto similar sobre la concentración de AT (síntesis y degradación de ácido málico). La concentración de la acidez total para todas las variedades al final del periodo de maduración

se establece entre los 5 y 6 g L⁻¹, y a los 1600 grados día. Por otra parte, la concentración de AT, presentó diferencias entre las variedades al inicio de la maduración o envero. En este sentido, se ha demostrado que el clima y el manejo del cultivo son responsables del 62 % de la variabilidad de la AT de las uvas, y solamente en un 20 % por la variedad de uva (Van Leeuwen 2004). De igual manera, se encontró que la proporción en el contenido de ácido málico es específica para cada variedad de uva. En Cabernet sauvignon, por ejemplo, siempre presentó un 50 % más concentración de ácido málico que la variedad Merlot. Esto concuerda con los valores de AT que se presentaron durante el envero para Cabernet sauvignon y Merlot en este estudio, mientras que Grenache presentó la menor concentración (32 g L⁻¹). El periodo de maduración más temprano, se presentó en Tempranillo, mientras que el periodo más tardío se presentó en Nebbiolo y Cabernet sauvignon esto es consistente con lo establecido en otros estudios (Wolkovich *et al.* 2017).

LITERATURA CITADA

Alves F, Costa J, Costa P, Correia C, Soares R, Moutinho-pereira J. Influence of climate and deficit irrigation on grapevine physiology, yield and quality attributes, of the cv. Touriga Nacional at Douro Region. 2012. IXe Congr Int des Terroirs Vitivinic 2:7- 20.

Amerine MA, Winkler AI. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. Hilgardia 15: 493-675.

Badr G, Gerrit H, Abouali M, Moyer M and Keller M. 2018. Analysis of several bioclimatic indices for viticultural zoning in the Pacific Northwest. Clim Res.Vol. 76: 203–223.

Barnnud NN, Zerihun A, Gibberd M, Bates B. 2014. Berry composition and climate: responses and empirical models. Int J Biometeorol 58:1207–1223.

Bonnefoy C, Quenol H, Bonnardot V. 2013. Temporal and spatial analyses of temperature in a French wine-producing area: The Loire Valley. Int J Climatol 33(8):1849-1862.

Butzke, C. E. 1998. Survey of yeast-assimilable nitrogen status in musts from California, Oregon and Washington. Am. J. Enol. Vitic. 49: 220-224.

Cabello-Pasini, A., Macias-Carranza, V. y Mejía-Trejo, A. 2017. Efecto del mesoclima en la maduración de uva Nebbiolo (*Vitis vinifera*) en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Agrociencia, 51:617-633.

Cagnasso E, Torchio F, Gerbi V, Segade S, Giacosa S, Rolle L. 2011. Evolution of the phenolic content and extractability indices during ripening of Nebbiolo grapes from the Piedmont growing areas over six consecutive years. *South African J Enol Vitic* 32(2):229-241.

Carey VA. 2001. Spatial characterization of terrain units in the Bottelaryberg-Simonsberg-Helderberg winegrowing area. MS Agriculture, Departement of Viticulture, University of Stellenbosch, Matieland, South Africa.

Childs BC, Bohlscheid JC, and Edwards, C.G. 2015. Impact of available nitrogen and sugar concentration in musts on alcoholic fermentation and subsequent wine spoilage by *Brettanomyces bruxellensis*. *Food Microbiology* 46, 604-609.

Clingeffer PR. 2010. Plant management research: status and what it can offer to address challenges and limitations. *Aust J Grape Wine Res* 16:25–32.

Conradie WJ, Carey VA, Bonnardot V, Saayman D, Van Schoor LH. 2002. Effect of natural “Terroir” units on the performance of Sauvignon Blanc grapevines in the Stellenbosch-Durbanville Districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *South African Journal of Enology and Viticulture* 23(2): 78–91.

Coombe BG. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Hort* 206:23–35.

De Freitas VAP, Glories Y, Monigue A. 2000. Developmental changes of procyanidins in grapes of red *Vitis vinifera* varieties and their composition in respective wines. *Am. J. Enol. Vitic* 51:397-403.

Esteban MA, Villanueva MJ and Lissarrague J R. 2002. Relationships between different berry components in Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. *J. Sci. Food Agric.*, 82, 136-146.

Fourment M, Bonnardot V, Planchon O, Ferrer M, QuénoI H. 2014. Circulation Atmosphérique locale et impacts thermiques dans un vignoble côtier: observations dans le sud de l'Uruguay. *Climatologie* 11:47–64.

Fourment M, Ferrer M, González-Neves G, Barbeau G, Bonnardot V, QuénoI H. 2017. Tannat grape composition responses to spatial variability of temperature in Uruguay's coastal wine region. *Int J Biometeorol* 61(9):1617-1628.

Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Santos JA. 2012. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food Energy Secur* 1(2): 94–110.

Hall A, Jones G. 2010. Spatial Analysis of Climate in Winegrape- Growing Regions in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16: 389–404.

Hannam KD, Nielsen GH, ForgeT and Neilsen D. 2013. The concentration of yeast assimilable nitrogen in Merlot grape juice is increased by N fertilization and reduced irrigation. *Can. J. Plant Sci.* 93: 3745.

Huang, Z., & Ough, C. S. 1989. Effect of vineyard locations, varieties, and rootstocks on the juice amino acid composition of several cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 40, 135–139.

Huglin P. 1978 Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France*. 64: 1117–1126.

Hunter JJ, Bonnardot V. 2002. Climatic Requirements for Optimal Physiological Processes: a Factor in Viticultural Zoning. In: *Proceedings IV th International Symposium on Viticultural Zoning*, June, Avignon, France 553–565.

Hunter JJ, Bonnardot V. 2011. Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with a focus on key physiological processes. *S. Afr. J. Enol. Vitic* 32(1):137-154.

Hunter JJ, Ruffner, H. 2001. Assimilate transport in grapevines – effect of phloem disruption. *Aust. J. Grape and Wine Res* 7:118–126.

Iland PG, Dry PR, Proffit T, Tyerman S. 2011. *The grapevine: from the science to the practice of growing vines for wine*. Adelaide: Patrick Clingeleffer 2010 Wine Promotions.

Jackson DI, Lombard PB. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: A review. *American J. Enol. Viticulture* 44(4):409-430.

Jenni, S. 2005. Rib discoloration: A physiological disorder induced by heat stress in crisphead lettuce. *HortScience*, 40(7): 2031-2035.

Jerry L. Hatfield, John H. Prueger 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development, *Weather and Climate Extremes*, Volume 10, Part A, Pages 4-10.

Jones GV. 2007. Climate Change: Observations, Projections, and General Implications for Viticulture and Wine Production. *Practical Winery and Vineyard*, July-August: 44- 64 *Journal of Experimental Botany* 58,1935–1945.

Keller M. 2010. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Aust J Grape Wine Res* 16:56–69.

Kliewer WM. 1966. Sugars and organic acids of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol* 41:923–931.

Kliewer WM. 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo-temperatures and nycto-temperatures during maturation. *J Am Soc Hortic Sci* 98:153–159.

Kliewer WM. 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *Am. J. Enol. Vitic* 28:96-103.

Köse B. 2014. Varieties in the Maritime Climate of Samsun in Turkey's Black Sea Region *35(1):90-102*.

Kriedemann PE. 1977. Vine leaf photosynthesis. In: Proc. Int. Symp. on the Quality of the Vintage, Cape Town. pp. 67-87.

Lakso A.N, and Kliewer, W.M. 1975. The Influence of Temperature on Malic Acid Metabolism in Grape Berries: I. Enzyme Responses. *Plant Physiol* 56, 370-372.

La Iacona T, Sanna M, Spanna F, Schubert A. 2012. Berry polyphenols and climatic variability in “Nebbiolo” grapes. *Acta Horti* 931:287-298.

Lee J and Steenwerth KL 2011. Rootstock and vineyard floor management influence on ‘Cabernet Sauvignon’ grape yeast assimilable nitrogen (YAN). *Food Chemistry* 127 (2011) 926–933.

Martínez-Lüscher J, Morales F, Sánchez-Díaz M. 2015. Climate change conditions (elevated CO₂ and temperature) and UV-B radiation affect grapevine (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) leaf carbon assimilation, altering fruit ripening rates. *Plant Sci* 236:168-176.

Mira de Orduña R. 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Res Int* 43(7):1844-1855.

Moral FJ, Rebollo FJ, Paniagua LL, García-Martín A. 2016. A GIS-based multivariate clustering for characterization and ecoregion mapping from a viticultural perspective. *Spanish J Agric Res* 14(3).

Mori K, Goto-Yamamoto N, Kitayama M, Hashizume K. 2007. Loss of anthocyanins in red- wine grape under high temperature. *J. Exp. Bot* 58:1935-1945.

Mullins MG, Bouquet A, Williams LE. 1992. Biology of the grapevine. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Obbink JG, Alexander DM, Possingham JV. 1973. Use of nitrogen and potassium reserves during growth of grape vine cuttings. *Vitis* 12: 207–213.

Ramos MC, Jones G V, Yuste J. 2015. Spatial and temporal variability of cv. Tempranillo phenology and grape quality within the Ribera del Duero DO (Spain) and relationships with climate. *Int J Biometeorol* 59(12):1849-1860.

Spayd SE, Tarara JM, Mee DL, Ferguson JC. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic* 53(3):171-182.

Sweetman C, Sadras VO, Hancock RD, Soole KL, Ford CM 2014. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *J. Exp Bot* 65:5975–5988.

Valenzuela-Solano CV, Ariel J, Corral R, Ramírez G, Hernández R. 2014. Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10: 2047-2059.

Verdenal T, V Zuferey, S Bburgos, J Rosti, F Lorenzini, A Dienes, K Gindro, JL Spring and O Viret. 2014. The effect of pedoclimatic conditions on the yeast assimilable nitrogen concentration on white cv. Doral in Switzerland. Conference Paper Agroscope/www.researchgate.net/publication/272483721.

Webb LB, Whetton PH, Barlow EWR. 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of grapevines in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 13:165–175.

Winkler AJ, Cook JA, Kliewer WM, Lider LA. 1974. *General viticulture*. University of California Press, Berkeley.

Tabla 3.1S. Análisis de Varianza de los Grados día (GDD), Índice de Huling (HI), índice de grados biológicamente efectivos (BEDD) y el índice de temperatura promedio de crecimiento por temporada (GST), calculados para cada una de las temporadas de cosecha.

GDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	1031241.8	343747.2	60.1	<0.001
Residual	13	74335.6	5718.1		
Total	16	1105577.5			

HI

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	1701039.5	567013.1	61.7	<0.001
Residual	12	110123.4	9176.9		
Total	15	1811163.0			

BEDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	447415.2	149138.4	21.7	<0.001
Residual	13	89037.6	6849.0		
Total	16	536452.9			

GST

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	16.44	5.48	41.12	<0.001
Residual	13	1.73	0.13		
Total	16	18.17			

Tabla 3.2S. Análisis de Varianza de los Grados día (GDD) para el inicio del envero y maduración a 20°C de las variedades de uva de San Antonio de las Minas y Santo Tomás

Inicio del Envero

San Antonio de las Minas

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	4	75184.4	18796.1	3.8	0.029
Residual	13	63941.9	4918.6		
Total	17	139126.4			

Santo Tomás

Entre Grupos	5	44822.2	8964.4	0.7	0.612
Residual	22	272225.4	12373.8		
Total	27	317047.7			

Maduración a 20° Bx

San Antonio de las Minas

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	4	52447.3	13111.8	0.92	0.472
Residual	17	240525.2	14148.5		
Total	21	292972.5			

Santo Tomás

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	5	384513.3	76902.6	5.07	0.003
Residual	24	363788.8	15157.8		
Total	29	748302.1			

Tabla 3.3S. Análisis de Varianza de los Días Julianos para el inicio del envero y maduración a 20°C de las variedades de uva de San Antonio de las Minas y Santo Tomás

Inicio del Envero

San Antonio de las Minas

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	4	2431.0	607.7	8.6	<0.001
Residual	23	1617.7	70.3		
Total	27	4048.8			

Santo Tomás

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	5	328.5	65.7	1.8	0.138
Residual	27	962.9	35.6		
Total	32	1291.5			

Maduración a 20° Bx

San Antonio de las Minas

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	4	3258.0	814.5	5.8	<0.001
Residual	43	5953.8	138.4		
Total	47	9211.9			

Santo Tomás

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	5	1179.2	235.8	3.42	0.015
Residual	29	1999.8	68.9		
Total	34	3179.1			

Tabla 3.4S. Análisis de Varianza de los Días Julianos (DJ) y Grados día (GDD) para el inicio del envero, maduración a 20°C, y días de maduración entre el inicio del envero y la maduración a 20°C de la uva Nebbiolo en Santo Tomás, Valle de Guadalupe, San Vicente y San Antonio de las Minas.

Inicio de Envero

DJ

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	352.5	117.5	1.89	0.169
Residual	17	1053.7	61.9		
Total	20	1406.2			

GDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	236993.6	78997.8	12.2	<0.001
Residual	16	103250.9	6453.1		
Total	19	340244.5			

Maduración a 20° Bx

DJ

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	1428.9	476.3	4.7	0.009
Residual	27	2698.0	99.9		
Total	30	4126.9			

GDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	465271.5	155090.5	12.7	<0.001
Residual	17	207144.4	12184.9		
Total	20	672416.0			

Periodo de Maduración

DJ

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	231.4	77.1	1.7	0.199
Residual	16	709.3	44.3		
Total	19	940.8			

GDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	3	46137.2	15379.0	1.5	0.237
Residual	16	157423.7	9838.9		
Total	19	203560.9			

Tabla 3.5S. Análisis de Varianza de los Días Julianos (DJ) y Grados día (GDD) para el inicio del envero, maduración a 20°C, y días de maduración entre el inicio del envero y la maduración a 20°C de la uva Tempranillo en Santo Tomás, Valle de Guadalupe, San Vicente y San Antonio de las Minas.

Inicio de Envero

DJ

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	2	22.1	11.0	0.09	0.91
Residual	12	1448.7	120.7		
Total	14	1470.9			

GDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	2	246572.5	123286.2	6.7	0.01
Residual	10	182726.6	18272.6		
Total	12	429299.2			

Maduración a 20° Bx

DJ

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	2	1450.2	725.1	6.2	0.008
Residual	20	2339.0	116.9		
Total	22	3789.3			

GDD

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	2	298519.7	149259.8	13.5	<0.001
Residual	14	154566.1	11040.4		
Total	16	453085.8			

Periodo de Maduración

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	2	379.4	189.7	1.8	0.20
Residual	12	1259.4	104.9		
Total	14	1638.9			

Fuente de Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre Grupos	2	2386.4	1193.2	0.06	0.94
Residual	10	191638.6	19163.8		
Total	12	194025.0			

Capítulo 4. Efecto del Mesoclima en la Maduración de la Uva Nebbiolo (*Vitis vinifera*) en el Valle de Guadalupe, Baja California, México

RESUMEN

La fisiología de la vid (*Vitis vinifera*) está regulada por las condiciones climáticas de mesoescala y gran escala. El valle de Guadalupe es una cuenca vitivinícola que produce la mayoría del vino de México y presenta variaciones climáticas en mesoescala que podrían influenciar la maduración de las uvas. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las diferencias climáticas en dos zonas vitivinícolas del Valle de Guadalupe, sobre la maduración de la uva Nebbiolo. Debido a la distancia con respecto a la costa, se esperaban encontrar diferencias climáticas y en la maduración de las uvas en las zonas de estudio. Durante cuatro temporadas, se evaluó concentración de sólidos solubles, acidez titulable y pH de uvas de la zona centro del Valle de Guadalupe y de la zona cercana al mar, San Antonio de la Minas (SAM). Además, se evaluó la temperatura, humedad relativa, irradiancia, precipitación pluvial, y velocidad y dirección del viento de 2012 al 2015. La concentración de sólidos solubles y el pH fueron significativamente mayores en el mosto de las uvas de Guadalupe que en las de SAM en las cuatro temporadas. Por el contrario, la concentración de ácidos orgánicos fue siempre menor en el mosto de las uvas de Guadalupe que en las de SAM. La irradiancia fue similar en ambas zonas, pero la temperatura diaria promedio y el número de días con temperaturas extremas fueron mayores en Guadalupe. Por el contrario, la humedad relativa y la precipitación fueron mayores en SAM. La maduración temprana de las uvas Nebbiolo de Guadalupe parece que es resultado de las temperaturas promedio mayores, los períodos frecuentes de calor y la humedad relativa menor en Guadalupe respecto a SAM.

INTRODUCCIÓN

La identificación y caracterización de diversos medios ambientes en diferentes escalas es de importancia crítica para la industria vitivinícola en México y el mundo. Se ha demostrado que el clima de las diferentes regiones vitivinícolas, y especialmente la temperatura, juegan un papel fundamental sobre la fisiología de la vid y la calidad del vino (Winkler *et al.* 1974). Una diferencia de 1-3 °C en la temperatura ambiental promedio en los viñedos de uva Pinot noir y Riesling en New South Wales, Australia, por ejemplo, produjo diferencias en las tasas fotosintéticas y de crecimiento de las vides (Hendrickson *et al.* 2004). Las vides expuestas a mayores temperaturas en este estudio mostraron tasas de incorporación de carbono hasta 10 % mayores y crecimientos hasta 40 % mayores que las vides expuestas a menores temperaturas. Estas diferencias de incorporación de carbono mostraron repercusión en la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos de las uvas, que a su vez modificaron la calidad de los vinos producidos con estas uvas. Además, la síntesis de antocianos y carotenoides en una gran cantidad de frutas, incluyendo las uvas, decrece como respuesta a la exposición a temperaturas altas (Koshita 2015). En uvas, específicamente, se encontró que las altas temperaturas reducen la expresión de genes encargados de la biosíntesis de antocianos en las pieles, lo cual a su vez reduce la producción de estas moléculas (Yamane *et al.* 2006). Por lo anterior, se ha demostrado que las uvas expuestas a mayores temperaturas durante su maduración tienden a producir vinos con menor concentración de color (Winkler *et al.* 1974).

Además de los cambios climáticos estacionales, el clima en una escala geográfica intermedia o mesoclima, también tiene un efecto sobre la fisiología de plantas nativas y cultivos agrícolas (Holden y Brereton 2004). El mesoclima o clima regional (< 50 km) es

considerado como el clima que domina una zona o distrito de cultivo, un valle agrícola, un bosque, etc. y que es influenciado por las colinas, el uso de suelo, los cuerpos de agua, el movimiento del aire, la cubierta vegetal y la cobertura de nubes. Estas diferencias climáticas en escalas locales pueden causar discrepancias considerables en la fenología de los cultivos en algunas regiones vitivinícolas. En Francia, por ejemplo, el noroeste de Burdeos recibe menor precipitación pluvial que la región sureste, lo que también genera grandes diferencias en cuanto al número de heladas que se presentan a lo largo del año (Lecocq y Visser 2006, Bois *et al.* 2008). Estas diferencias climáticas dentro de Burdeos son responsables en gran medida de la gran variabilidad de tipos y calidades de vinos en esta región (Lecocq y Visser 2006). No obstante que el valle de Guadalupe en Baja California tiene una longitud de más de 20 km, se desconoce si las potenciales diferencias climatológicas regionales tienen un efecto sobre la maduración de las uvas que ahí se cultivan.

El Valle de Guadalupe es el principal valle vitivinícola de Baja California y México, donde se cultivan aproximadamente 1,800 ha de uva para la producción de vino. Tanto en el Valle de Guadalupe como en el resto de los valles vitivinícolas de Baja California, se presenta una gran diversidad de variedades de uvas cultivadas. Hasta el 2011, por ejemplo, se tenían registradas más de 50 variedades de uva para vino y más de 200 productores de uva en los diferentes valles vitivinícolas de Baja California (Sepulveda-Betancourt 2009, Secretaría de Fomento Agropecuario 2011). Todas estas variedades de uva cultivada están expuestas a diferencias climáticas entre los diferentes valles y a las diferencias climáticas dentro de cada uno de los valles. No obstante que el valle de Guadalupe es la principal zona vitivinícola de México, hasta donde sabemos no existe ni un solo reporte publicado sobre el efecto del clima sobre la maduración de las uvas en esta zona. El Valle de Guadalupe se localiza a 10-30 km

de la costa del océano Pacífico por lo que algunas regiones de este valle están expuestas a neblinas y brisas marinas que generan temperaturas relativamente templadas a lo largo del año. Las brisas marinas que alcanzan viñedos cercanos a la costa del mar tienen un efecto significativo sobre la fisiología de la vid y la maduración de las uvas (Nemani *et al.* 2001, Bonnardot *et al.* 2002). En Napa y Sonoma, California, EE.UU., por ejemplo, se observó una disminución del número de heladas durante la primavera debido al cambio de los patrones de circulación de las brisas. Lo anterior es el resultado del aumento de la temperatura del mar adyacente y al aumento en la concentración de vapor de agua atmosférico como consecuencia del cambio climático global. Esta disminución de heladas en las zonas de cultivo ha generado una reducción de aproximadamente 20 días en la época de brotación, y un aumento del rendimiento de los viñedos y la calidad de los vinos de la zona (Nemani *et al.* 2001). No obstante que se ha demostrado que el clima juega un papel crítico sobre la fisiología de las uvas y la calidad del vino que se produce con estas uvas, se desconoce el efecto de la temperatura, la precipitación, y la humedad relativa sobre la maduración de las uvas en el Valle de Guadalupe.

Nebbiolo es una variedad de uva originaria del norte de Italia destinada para la producción de vino (Giovanelli y Brenna 2006). En Baja California, la uva *Nebbiolo* se planta en diferentes valles y bajo diferentes condiciones climáticas dentro de cada uno de estos valles. En el Valle de Guadalupe, esta variedad es apreciada por los vitivinicultores debido a la alta calidad de vinos que se producen con esta uva. Sin embargo, se desconoce el efecto de las diferencias climáticas sobre la fisiología de esta variedad y sobre la calidad del vino que se produce con estas uvas. No obstante que el clima es el principal factor que regula la maduración de las uvas, se han publicado muy pocos datos sobre la climatología del Valle

de Guadalupe y su impacto sobre la fisiología de las uvas que se cultivan ahí. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las diferencias climáticas en el Valle de Guadalupe, Baja California sobre la maduración de la uva Nebbiolo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El valle de Guadalupe ($32^{\circ} 03'N$, $116^{\circ} 37'W$) es una cuenca localizada aproximadamente a 30 km al noreste de la ciudad de Ensenada, Baja California, México (Fig 4.1). San Antonio de las Minas (SAM) se localiza en la zona oeste del valle, a aproximadamente 10 km de la costa del océano Pacífico. Por otro lado, el poblado de Guadalupe (Francisco Zarco) se encuentra en la región este del Valle de Guadalupe a aproximadamente 30 km de la costa. El Valle de Guadalupe está considerado como una región semidesértica con la mayoría de las precipitaciones (285 mm año^{-1}) durante el invierno.

Datos climatológicos

Datos climatológicos se obtuvieron desde septiembre del 2012 a diciembre de 2015 utilizando estaciones meteorológicas (HOBO U30, EE.UU.) en Guadalupe ($32^{\circ} 06' 50'' N$, $116^{\circ} 30' 47'' W$) y SAM ($31^{\circ} 59' 05'' N$, $116^{\circ} 38' 38'' W$) colocados dentro de cada uno de los viñedos estudiados. La distancia lineal entre los viñedos fue de aproximadamente 20 km. Los sensores de las estaciones se colocaron a una altura de aproximadamente 2.5 m sobre el suelo sin obstáculos que pudieran sombrear el sensor de radiación solar o alterar las mediciones de temperatura, velocidad y dirección del viento. Cada estación meteorológica,

previamente calibrada, registró la temperatura ambiental, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa, y velocidad y dirección del viento cada 15 min.

Cultivo de la vid

El estudio se efectuó durante cuatro periodos de producción (2012 al 2015) usando viñedos comerciales (*Vitis vinifera* var. Nebbiolo) en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California. El material vegetativo de ambos cultivos provino del mismo clon y contaban con cinco años de edad al inicio del estudio. Las vides se cultivan en cordones de un brazo con un sistema de espaldera de dos líneas. Los pasillos de los cultivos mantuvieron una distancia de 2.7 m y 1.2 m entre vides dispuestas en una orientación Este-Oeste y la poda se mantuvo a 30 yemas por vid. El agua de riego se suministró semanalmente desde abril hasta la fecha de cosecha en volúmenes similares (20 L sem^{-1}) para ambos cultivos utilizando riego por goteo.

Análisis químicos

Las variables de madurez de las uvas en ambos sitios de estudio se determinaron semanalmente a partir de la fecha de envero. Cada semana se recolectaron al azar aproximadamente 200-300 bayas en cada zona de estudio y se transportaron en una hielera con hielo gel al laboratorio para realizar los análisis químicos. Las uvas recolectadas se tomaron de ambas zonas de los pasillos de cultivo, de la parte interna y externa del dosel, y de la parte superior e inferior de los racimos. Las uvas de cada tratamiento se maceraron durante 1 h y se determinó la concentración de sólidos solubles utilizando un refractómetro de mesa Abbe (Fisher Scientific Co.). La acidez titulable se determinó mediante titulación

con NaOH 0.1 N hasta un punto de vire de 8.2, y el pH del mosto se determinó potenciométricamente (ThermoOrion 410) (Zoecklein *et al.* 1995).

Análisis estadístico

Las diferencias estadísticas de los datos climatológicos, así como de los datos de sólidos solubles, pH y acidez titulable de las uvas, se determinaron mediante un ANDEVA de una vía después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos (Sokal y Rohlf 1995). Todas las comparaciones múltiples de promedios se realizaron con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

La maduración de las uvas para la producción de vino es un proceso complejo que involucra la acumulación de glucosa, fructosa, ácidos orgánicos, polifenoles, sustancias aromáticas, etc., así como la reducción de algunos compuestos que imparten aromas no deseados en los vinos. La síntesis y el catabolismo de estos compuestos en las uvas están regulados estrechamente por factores ambientales y prácticas de cultivo que finalmente influyen la tipicidad y calidad de los vinos. Variaciones en las características climáticas anuales generan variabilidad de las características organolépticas y en la calidad de los vinos producidos año con año en una región. Además de estas variaciones anuales, existen variaciones en la calidad de los vinos producidos dentro en una región vitivinícola que presenta diferencias climáticas de mesoescala. Al igual que en otras regiones vitivinícolas,

en este estudio se observaron diferencias de maduración entre vides plantadas en zonas con diferentes microclimas dentro del Valle de Guadalupe.

La incorporación de sólidos solubles fue significativamente mayor ($p < 0.01$) en la uva *Nebbiolo* de Guadalupe que en la uva de San Antonio de las Minas desde el 2012 al 2015 (Fig 4.2). Al inicio de la maduración en cada uno de los años estudiados, la concentración de sólidos solubles fue de 3 a 5 °Bx más alto en la uva *Nebbiolo* de Guadalupe que en la uva de SAM. De igual manera, al final de la maduración, las uvas *Nebbiolo* de Guadalupe alcanzaron valores mayores a 20 °Brix de una a tres semanas antes que las uvas de SAM. Por otro lado, la acidez titulable al inicio de la maduración en todos los años fue 50 % menor en las uvas de Guadalupe que en las uvas de SAM. A lo largo del periodo de maduración, la acidez titulable fue menor en las uvas de Guadalupe que en las uvas de SAM. Por último, el pH fue significativamente mayor ($p < 0.05$) para el mosto de las uvas de Guadalupe que para el mosto de las uvas de SAM. Las mayores tasas de incorporación de sólidos solubles y el catabolismo más acelerado de ácidos orgánicos observado en las uvas de Guadalupe con respecto a las de SAM es consistente con las diferencias en las tasas de maduración experimentadas en muchos valles vitivinícolas del mundo. Estas diferencias de maduración generalmente están ligadas a diferencias climáticas de mesoescala o gran escala. En las uvas Carignane, Petite sirah y Zinfandel, por ejemplo, la incorporación de sólidos solubles es más acelerada en zonas calientes que en zonas frías de California, EE.UU. (Amerine y Winkler 1944, Winkler *et al.* 1974). En estas uvas, la concentración de sólidos solubles fue 2 a 5 °Bx más alto en uvas de zonas cálidas que en zonas frías de California. De igual manera, la concentración de los ácidos orgánicos en estas uvas fue dos veces mayor en zonas frías que en zonas calientes del estado (Amerine y Winkler 1944). Además, la concentración de sólidos

solubles se acumula más rápidamente y se acelera su cosecha en uvas Sauvignon blanc que son cultivadas en zonas cálidas de Sudáfrica (Conradie *et al.* 2002). Desde el punto de vista comercial, la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos se considera un indicador de la madurez de las uvas, y se utiliza para establecer la fecha de cosecha para iniciar la vinificación. Por lo anterior, la diferencia en las tasas de maduración de estas uvas resulta en una cosecha hasta dos meses más temprana en las zonas cálidas de California que en las zonas frías. Esta diferencia en el tiempo de cosecha es consistente con lo observado en este estudio, en donde las uvas de Guadalupe se cosecharon hasta 27 días antes que las uvas de SAM.

No se observaron diferencias significativas en la irradiancia recibida por las vides en ambos sitios de estudio (Fig 4.3). Las mayores irradiancias diarias ($65 \text{ mol cuanta m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se encontraron en julio y las menores irradiancias diarias ($3\text{-}6 \text{ mol cuanta m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se observaron entre noviembre y marzo de cada año de estudio. No obstante que las irradiancias diarias máximas en ambos sitios fueron similares, el número de días con irradiancias bajas debido a neblinas costeras o nubes fue significativamente mayor en SAM. La zona vitivinícola de SAM se localiza a 10 km de la costa y recibe el influjo de recurrentes neblinas costeras, mientras que la zona más occidental del valle de Guadalupe se localiza a 30 km de la costa y no es afectada por las neblinas con la misma frecuencia. La reducción de la irradiancia en SAM es consistente con la reducción de la irradiancia observada en la zona costera del sur de California debido al efecto de las neblinas (Tont 1975, Fischer *et al.* 2009). Estos estudios demostraron que existe una reducción lineal de la irradiancia desde la costa hacia tierra adentro como consecuencia de las neblinas generadas en la zona costera. La frecuencia de neblinas en el sur de California, EE.UU., y probablemente el norte de Baja California, ha

disminuido significativamente en los últimos 60 años como resultado de cambios en los patrones de circulación (LaDochy y Witiw 2011). Estos cambios en los patrones de neblinas han afectado la ecología costera y la agricultura en zonas costeras, incluyendo la vitivinicultura (Nemani *et al.* 2001).

Los patrones de temperatura promedio diaria fueron similares en ambos sitios de estudio, sin embargo, el número de días con temperaturas promedio mayores a 25 °C fue de 131 en Guadalupe y tan solo de 67 en SAM (Fig 4.4). La temperatura promedio de crecimiento es uno de los factores que regula de mayor manera la madurez de las uvas. En la uva Tempranillo en Navarra, España, por ejemplo, se observó una maduración de las uvas más acelerada en vides cultivadas a nivel experimental a 28 °C que en vides cultivadas a 24 °C (Salazar Parra *et al.* 2010). La concentración de sólidos solubles alcanzó niveles de 24 °Bx en tiempos significativamente menores cuando las vides crecieron a una temperatura de 28 °C que las que crecieron a 24 °C. Además, la temperatura de crecimiento de las uvas no solo tiene un efecto sobre la maduración de las uvas (sólidos solubles, acidez titulable, pH) sino también sobre la acumulación de moléculas que regulan la calidad de los vinos producidos con esas uvas. La concentración de metoxipirazinas, por ejemplo, se acumula en mayores concentraciones en uva Cabernet sauvignon y Carmenere cuando las temperaturas de crecimiento son bajas (Belancic y Agosin 2007, Falcão *et al.* 2007). La acumulación de metoxipirazinas en uvas que crecen en zonas frías imparte aromas de pimiento morrón, heno y otros aromas “verdes” en vinos producidos con estas uvas (Falcão *et al.* 2007). Estos aromas asociados a las metoxipirazinas se consideran negativos, y reducen la percepción de calidad en vinos. Lo anterior sugiere que las diferencias de temperatura promedio de SAM y Guadalupe afectan las tasas de maduración de la uva Nebbiolo y probablemente otras uvas.

Es probable que las diferencias de mesoclima entre ambas zonas no sólo tengan efecto en la acumulación de sólidos solubles y ácidos orgánicos, sino también en la concentración final de moléculas como la metoxipirazina que modifica la calidad del vino producido con estas uvas.

Los valores de temperatura máxima fueron ligeramente mayores en Guadalupe que las temperaturas máximas en SAM (Fig 4.5). El número de días con temperaturas mayores a 35 °C fue tres veces mayor en Guadalupe (118 d) que en SAM (37 d). Además, durante este periodo de estudio no se presentaron temperaturas mayores a 40 °C en SAM, mientras que 10 días registraron temperaturas mayores a 40 °C en Guadalupe. Lo anterior sugiere que las uvas de Guadalupe estuvieron expuestas a temperaturas extremas más frecuentemente que las uvas de SAM. Por el contrario, los valores de temperatura mínima fueron relativamente similares en ambos valles vitivinícolas, presentando 83 días de temperaturas menores a 5 °C en Guadalupe y 76 días en SAM. Se ha demostrado que la producción de vino de calidad está limitada a regiones climáticas que 1) mantienen una acumulación térmica adecuada para expresar la tipicidad de la variedad de uva, 2) que presentan un bajo riesgo de daño a las vides por heladas, y 3) la ausencia de temperaturas extremas (White *et al.* 2006). Los resultados de este estudio indican que las uvas de Guadalupe están expuestas a temperaturas extremas más frecuentemente, y por lo tanto a mayor deshidratación, que las uvas de SAM. Además, se observó un incremento de temperaturas máximas a lo largo del periodo de estudio, especialmente para SAM. Es probable que el incremento de la temperatura de esta serie de tiempo esté influenciado por las temperaturas extremas experimentadas a nivel global durante 2014-2015, incluyendo el norte de Baja California. Este incremento de

temperatura probablemente esté ligado a cambios climáticos de gran escala y de periodos amplios de tiempo (Kilmister *et al.* 2016, Mann *et al.* 2016).

La diferencia entre la temperatura máxima y mínima (amplitud) diaria fue relativamente similar en ambos valles vitivinícolas (Fig 4.6). Se observó una diferencia diaria de temperatura entre 3 y 26 °C a lo largo del año en ambos valles vitivinícolas sin un patrón estacional claro. La diferencia en la amplitud del intervalo de fluctuaciones máximas y mínimas en la temperatura se mantuvo constante a lo largo del periodo de estudio en SAM. Por el contrario, se observó una reducción de aproximadamente 2 °C en la amplitud entre la temperatura máxima y mínima diaria para Guadalupe a lo largo del periodo de estudio. Esta disminución en la diferencia de las temperaturas entre el día y la noche es consistente con la reducción de la amplitud diurna en el sur de California debido al cambio climático global de los últimos 100 años (Steve *et al.* 2007). La concentración de algunos metabolitos de la uva está regulada en gran medida por la etapa de maduración, el tipo de suelo, luz, método de cultivo y la temperatura ambiental, entre otros. El incremento de la temperatura de crecimiento de la uva *Merlot*, por ejemplo, redujo la concentración de pigmentos en las pieles de las uvas y la concentración de polifenoles totales (Spayd *et al.* 2002). Además, se ha demostrado que la exposición de las uvas a temperaturas extremas durante la maduración, aunque sea por periodos cortos de tiempo, modifica el perfil polifenólico y antociánico (Tarara *et al.* 2008). Por lo anterior, sería de esperar que las diferencias en la temperatura extrema entre Guadalupe y SAM no solo influyen en la concentración de sólidos solubles y acidez titulable en las uvas, sino que también provocan diferencias en la composición polifenólica y aromática de las uvas de ambos valles.

Los valores de humedad relativa del aire fueron estadísticamente mayores ($p < 0.01$) en SAM que en Guadalupe a lo largo del periodo de estudio (Fig 4.7). La humedad relativa promedio para SAM fue de aproximadamente 70 % mientras que fue menor de 60 % en Guadalupe. Además, la cantidad de días con humedades relativas mayores al 80 % fue más de tres veces mayor en SAM que en Guadalupe. Las mayores humedades relativas observadas en SAM que en Guadalupe son consistentes con las mayores humedades observadas en toda la zona costera de California en relación con la zona central del estado. Los altos niveles de humedad relativa del aire en zonas cercanas a la costa es el resultado de la evaporación del agua de mar y las brisas marinas hacia la costa. La humedad relativa tiene una función crítica sobre la transpiración de las hojas y frutos en una gran cantidad de plantas, incluyendo las vides. La conductancia estomatal y la fotosíntesis aumenta al aumentar la humedad relativa del aire (Mooney *et al.* 1983). Sin embargo, la reducción de la humedad relativa del aire también aumenta las tasas de transpiración de las uvas, por lo que aumenta la deshidratación y aumenta la concentración de sólidos solubles del mosto (Rebucci *et al.* 1997). Por lo anterior, el aumento en las tasas de acumulación de sólidos solubles (maduración) de las uvas de Guadalupe con relación a las de SAM debe ser, parcialmente, el resultado de las menores humedades relativas del aire a lo largo del año. Además del efecto de la humedad relativa sobre la fisiología de la vid, se ha demostrado que la temperatura y la humedad relativa del aire juegan un papel crítico en el desarrollo de hongos como *Botrytis cinerea* y cenicilla (*Uncinula necátor*) que afectan el desarrollo de la uva durante la etapa de maduración. Debido a las diferencias de temperatura y humedad relativa en las dos zonas de estudio, es probable que las vides de Guadalupe y SAM tengan una presión diferencial ante estos patógenos.

Las lluvias durante el invierno contribuyeron con la mayor parte de la precipitación anual en el Valle de Guadalupe (Fig 4.8). Las lluvias en el sur de California, EE.UU. y el Norte de Baja California, México son consecuencia del debilitamiento del sistema del Pacífico Norte en el invierno, lo que permite la entrada de sistemas convectivos y frentes de lluvia en esta región (Cavazos y Rivas 2004). Se observó, además, una variabilidad en la precipitación en los diferentes años estudiados, presentando las menores precipitaciones para ambas zonas de estudio durante el invierno del 2013-2014. La variabilidad interanual de precipitación pluvial en el norte de Baja California en gran medida es el resultado del efecto de eventos de El Niño, como el observado durante el 2015 (Schonher y Nicholson 1989, Cavazos y Rivas 2004, Varotsos *et al.* 2016). La regresión de los datos de lluvia en ambas zonas de estudio indica que la precipitación es aproximadamente 30 % mayor en SAM que en Guadalupe. Esto es contrario a lo reportado por Minnich *et al.* (2000) quienes observaron un incremento ligero de la precipitación desde la costa hacia tierra adentro, y con un aumento en la altura topográfica en el norte de Baja California. Sin embargo, SAM se encuentra más cercano a la costa, inmediatamente después de un incremento abrupto en la topografía costera (Fig 4.1). Por otro lado, Guadalupe se encuentra a la misma altura topográfica que SAM pero a una distancia de 20 km tierra adentro. Es probable, por lo tanto, que las mayores descargas de agua por parte de los frentes de lluvia se presenten en SAM debido al incremento de altura topográfica y a su cercanía con los frentes de lluvia en relación con Guadalupe. Sin embargo, las mayores precipitaciones observadas en SAM que Guadalupe probablemente no juegan un papel crítico con relación a las diferencias en la maduración de las uvas en ambas regiones. Lo anterior se debe a que el grueso de las lluvias en la región se presenta en invierno y la maduración de las uvas se lleva a cabo aproximadamente cuatro meses después de las últimas lluvias. De hecho, es necesario suplementar agua de riego a las vides durante los meses de

verano debido al incremento de la evapotranspiración y el aumento del estrés hídrico sobre estos cultivos (Mendoza-Espinosa *et al.* 2008, Acosta-Zamorano *et al.* 2013a, Acosta-Zamorano *et al.* 2013b).

Además de la temperatura y humedad relativa del aire, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las velocidades y dirección de los vientos dominantes de Guadalupe y SAM durante el periodo de maduración de las uvas (Fig 4.9). Los vientos dominantes durante el día (10:00-14:00 h) en SAM presentaron una dirección suroeste con intensidades generalmente menores a 4 m s^{-1} , mientras que en Guadalupe los vientos dominantes presentaron una dirección suroeste con intensidades significativamente mayores a las observadas en SAM. Por el contrario, los vientos en la tarde y noche en SAM presentaron una dirección norte mientras que en Guadalupe una dirección este. Además, la intensidad de los vientos en la tarde noche fueron ligeramente más intensos en SAM que en Guadalupe. El proceso de evapotranspiración depende en gran medida de la velocidad del viento y la turbulencia en la capa límite de las hojas y los racimos de uva. En general, las velocidades mayores del viento reducen el grosor de la capa límite y aumentan la evapotranspiración de las plantas, lo que a su vez aumenta el estrés hídrico (Onoda y Anten 2011). Por lo anterior, es probable que la mayor intensidad en la velocidad del viento en Guadalupe ocasione una mayor deshidratación y un mayor estrés hídrico en estas uvas con relación a los viñedos de SAM.

Conclusiones

El valle de Guadalupe es una región vitivinícola extensa que presenta variaciones climatológicas a nivel mesoescala. La zona de Guadalupe (Francisco Zarco) presentó temperaturas promedio y temperaturas máximas más altas que las de San Antonio de las Minas. Mientras que, la humedad relativa y las precipitaciones pluviales fueron menores en Guadalupe que en SAM.

La diferencia encontrada en las condiciones climáticas probablemente acelera la maduración de la uva Nebbiolo de Guadalupe con respecto a la misma uva en SAM. Este efecto en la maduración probablemente está regulando de una manera similar la maduración y las características fisiológicas de otras uvas en el valle. Estas diferencias de maduración probablemente generen diferencias en relación a la calidad de las uvas y a los vinos producidas en esta región vitivinícola.

Literatura Citada

Acosta-Zamorano, D., V. Macías-Carranza, L. Mendoza-Espinosa and A. Cabello-Pasini. 2013a. Effect of Treated Wastewater on Growth, Photosynthesis and Yield of Tempranillo Grapevines (*Vitis Vinifera*) in Baja California, México. *Agrociencia* 47: 753-766.

Acosta-Zamorano, D., V. Macías-Carranza, L. Mendoza-Espinosa and A. Cabello-Pasini. 2013b. Effect of treated wastewater on the chemical composition of Tempranillo grapes (*Vitis vinifera*) in Baja California, México. *Agrociencia* 47: 767-779.

Amerine, M. A. and A. Winkler. 1944. Composition and Quality of Musts and Wines of California Grapes. *Hilgardia* 15: 493-675.

Belancic, A. and E. Agosin. 2007. Methoxypyrazines in Grapes and Wines of *Vitis vinifera* cv. *Carmenere*. *Am. J. Enol. Vitic.* 58: 462-469.

Bois, B., C. Van Leeuwen, P. Pieri, J.-P. Gaudillère, E. Saur, D. Joly, L. Wald and D. Grimal. 2008. Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. VIIth International terroir Congress. Changins, Switzerland. pp. 455-462.

Bonnardot, V., O. Planchon, V. Carey and S. Cautenet. 2002. Diurnal wind, relative humidity and temperature variation in the Stellenbosch-Groot Drakenstein wine-growing area. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 23 62-71

Cavazos, T. and D. Rivas. 2004. Variability of extreme precipitation events in Tijuana, Mexico. *Clim. Res.* 25: 229-243.

Conradie, W. J., V. A. Carey, V. Bonnardot, D. Saayman and L. H. Van Schoor. 2002. Effect of the different environmental factors on the performance of Sauvignon blanc in the Stellenbosch/Durbanville districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 23 78-91.

Falcão, L. D., G. de Revel, M. C. Perello, A. Moutsiou, M. C. Zanús and M. T. Bordignon-Luiz. 2007. A Survey of Seasonal Temperatures and Vineyard Altitude Influences on 2-Methoxy-3-isobutylpyrazine, C13-Norisoprenoids, and the Sensory Profile of Brazilian *Cabernet Sauvignon* Wines. *J. Agric. Food Chem.* 55: 3605-3612.

Fischer, D. T., C. J. Still and A. P. Williams. 2009. Significance of summer fog and overcast for drought stress and ecological functioning of coastal California endemic plant species. *J. Biogeogr.* 36: 783-799.

Giovanelli, G. and O. V. Brenna. 2006. Evolution of some phenolic components, carotenoids and chlorophylls during ripening of three Italian grape varieties. *Eur. Food Re. Technol.* 225: 145-150.

Hendrickson, L., M. C. Ball, J. T. Wood, W. S. Chow and R. T. Furbank. 2004. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. *Plant Cell Environ.* 27: 795-809.

Holden, N. M. and A. J. Brereton. 2004. Definition of agroclimatic regions in Ireland using hydro-thermal and crop yield data. *Agric. For. Meteorol.* 122: 175-191.

Kilmister, R., D. Unwin, M. Treeby, E. Edwards and M. Krstic. 2016. Climate change: Effect of elevated CO₂ and temperature on phenology, carbohydrates, yield and grape composition - preliminary results. *Wine Viticult. J.* 31: 38-40.

Koshita, Y. 2015. Effect of Temperature on Fruit Color Development. In: Kanayama Y. and Kochetov A.s (eds.). *Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants*. Springer Japan. Tokyo. pp. 47-58.

LaDochy, S. and M. Witiw. 2011. The Continued Reduction in Dense Fog in the Southern California Region: Possible Causes. *Pure and Applied Geophysics* 169: 1157-1163.

Lecocq, S. and M. Visser. 2006. Spatial Variations in Weather Conditions and Wine Prices in Bordeaux. *J. Wine Econo.* 1: 114–124.

Mann, M. E., S. Rahmstorf, B. A. Steinman, M. Tingley and S. K. Miller. 2016. The Likelihood of Recent Record Warmth. *Sci. Rep.* 6: 19831.

Mendoza-Espinosa, L. G., A. Cabello-Pasini, V. Macías-Carranza, W. Daessle-Heuser, M. V. Orozco-Borbon and A. L. Quintanilla-Montoya. 2008. The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines. *Wat. Sci. Tech.* 57: 1445-1450.

Minnich, R. A., E. Franco-Vizcaino and R. J. Dezzani. 2000. The El Niño/Southern Oscillation and Precipitation Variability in Baja California, Mexico. *Atmósfera* 13: 1-20.

Mooney, H. A., C. Field, C. V. Yanes and C. Chu. 1983. Environmental controls on stomatal conductance in a shrub of the humid tropics. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 80: 1295-1297.

Nemani, R., M. A. White, D. R. Cayan, G. Jones, S. Running, J. Coughlan and D. Peterson. 2001. Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. Clim. Res. 19: 25-34.

Onoda, Y. and N. P. R. Anten. 2011. Challenges to understand plant responses to wind. Plant Signal Behav. 6: 1057-1059.

Rebucci, B., S. Poni, C. Intrieri, E. Magnanini and A. N. Lakso. 1997. Effects of manipulated grape berry transpiration on post-veraison sugar accumulation. Aust. J. Grape Wine Res. 3: 57-65.

Salazar Parra, C., J. Aguirreolea, M. Sánchez-Díaz, J. J. Irigoyen and F. Morales. 2010. Effects of climate change scenarios on Tempranillo grapevine (*Vitis vinifera* L.) ripening: response to a combination of elevated CO₂ and temperature, and moderate drought. Plant Soil 337: 179-191.

Schonher, T. and S. E. Nicholson. 1989. The Relationship between California Rainfall and ENSO Events. J. Clim. 2: 1258-1269.

Secretaría de Fomento Agropecuario. 2011. Estudio estadístico sobre producción de uva en Baja California. Secretaría de Fomento Agropecuario. Ensenada, Baja California. p. 37.

<http://www.nacionmulticultural.unam.mx/empresasindigenas/docs/1873.pdf>. Fecha de acceso 24/abril/2016.

Sepulveda-Betancourt, J. I. 2009. Aspectos Geográficos y Estadísticos de la Viticultura del Estado de Baja California. Sistema Producto Vid, Baja California. Ensenada, Baja California. 26pp.

http://www.afintegral.com/docs/Geografia_y_estadist_vid_2008.pdf. Fecha de acceso 24/abril/2016.

Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1995. Biometry. W.H. Freeman and Company. New York. 887 pp.

Spayd, S. E., J. M. Tarara, D. L. Mee and J. C. Ferguson. 2002. Separation of Sunlight and Temperature Effects on the Composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot Berries. Am. J. Enol. Vitic. 53: 171-182.

Steve, L., M. Richard and P. William. 2007. Recent California climate variability: spatial and temporal patterns in temperature trends. Clim. Res. 33: 159-169.

Tarara, J. M., J. Lee, S. E. Spayd and C. F. Scagel. 2008. Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in *Merlot* Grapes. Am. J. Enol. Vitic. 59: 235-247.

Tont, S. A. 1975. The effect of upwelling on solar irradiance near the coast of southern California. J. Geophys. Res. 80: 5031-5034.

Varotsos, C. A., C. G. Tzanis and N. V. Sarlis. 2016. On the progress of the 2015–2016 El Niño event. *Atmos. Chem. Phys.* 16: 2007-2011.

White, M. A., N. S. Diffenbaugh, G. V. Jones, J. S. Pal and F. Giorgi. 2006. Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103: 11217-11222.

Winkler, A. J., J. A. Cook, W. M. Kliewer and L. A. Lider. 1974. *General Viticulture*. University of California Press. Berkley. 710 pp.

Yamane, T., S. T. Jeong, N. Goto-Yamamoto, Y. Koshita and S. Kobayashi. 2006. Effects of Temperature on Anthocyanin Biosynthesis in Grape Berry Skins. *Am. J. Enol. Vitic.* 57: 54-59.

Zoecklein, B. W., K. C. Fugelsang, B. H. Gump and F. S. Nury. 1995. *Wine Analysis and Production*. Chapman-Hall. New York. 296 pp.

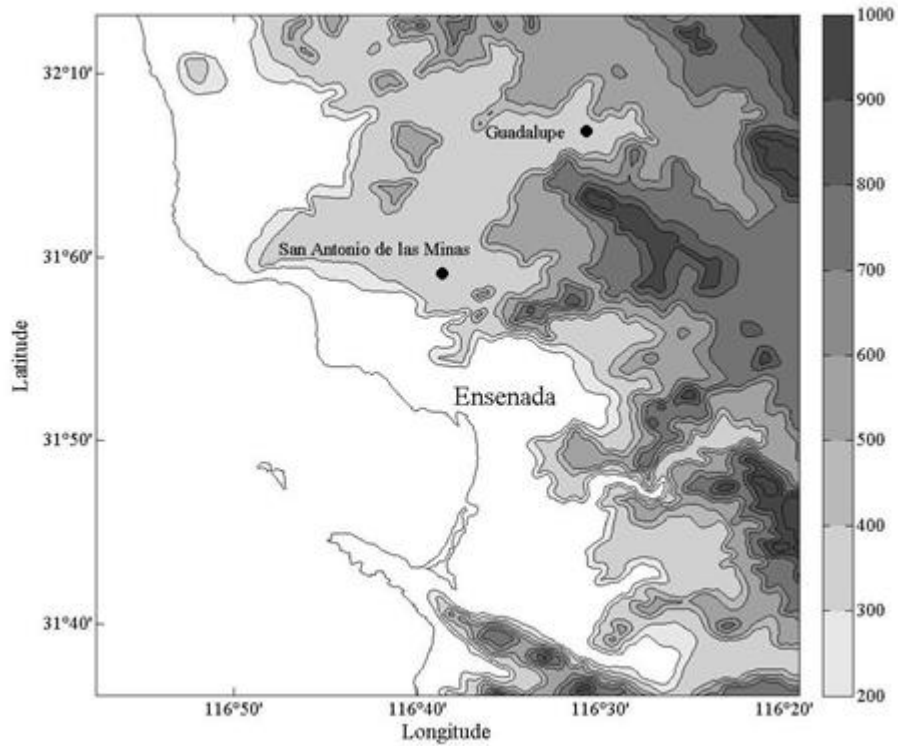


Figura 4.1. Localización de los viñedos y estaciones meteorológicas en Guadalupe y San Antonio de las Minas, en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Curvas de nivel indican la altura topográfica en metros.

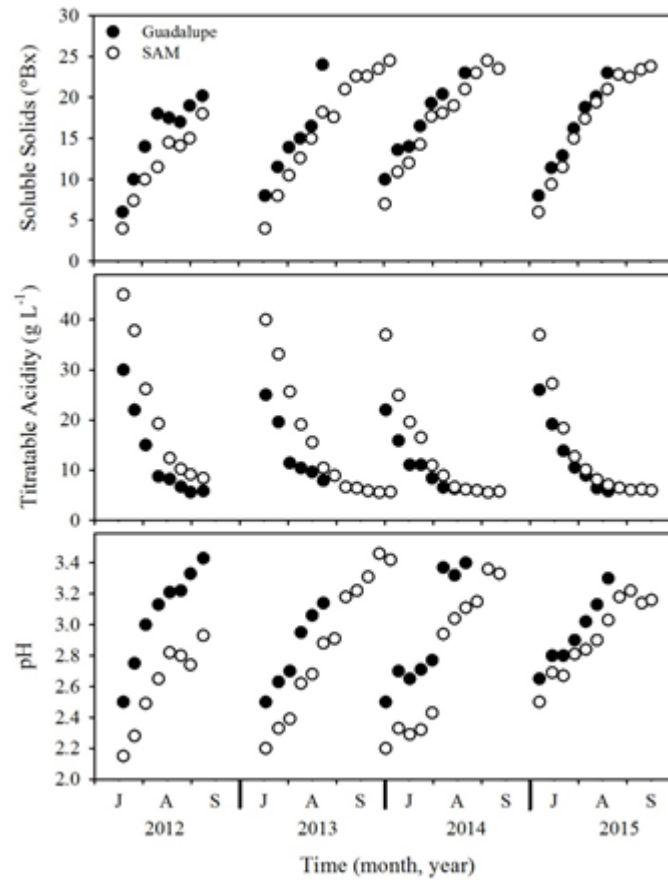


Figura 4.2. Concentración de sólidos solubles, acidez titulable y pH de uvas *Nebbiolo* a lo largo del periodo de maduración en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

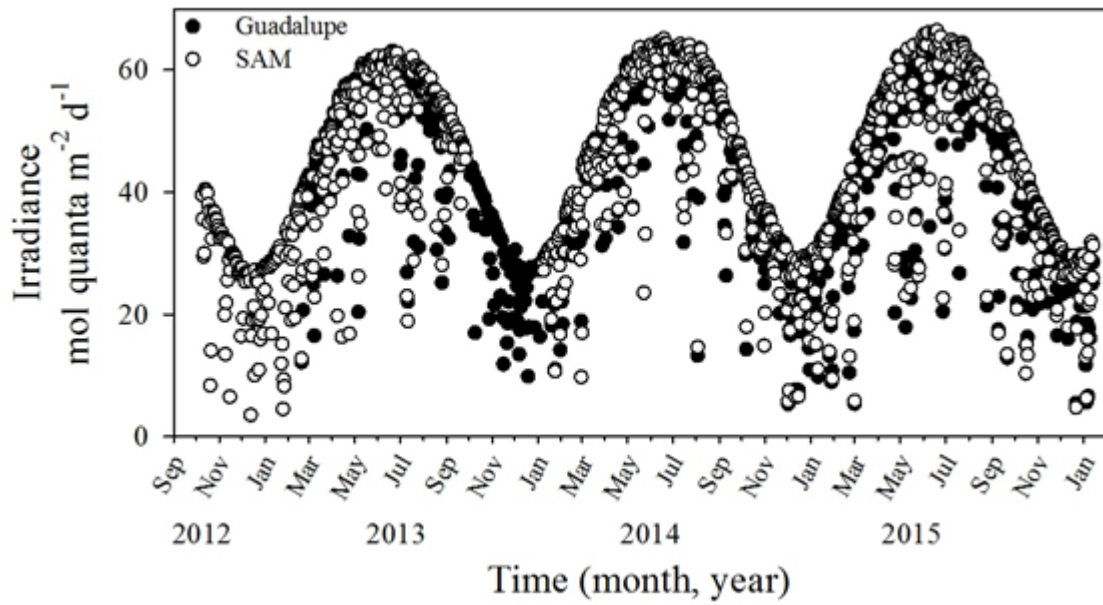


Figura 4.3. Radiación fotosintéticamente activa (mol quanta m⁻² d⁻¹) en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

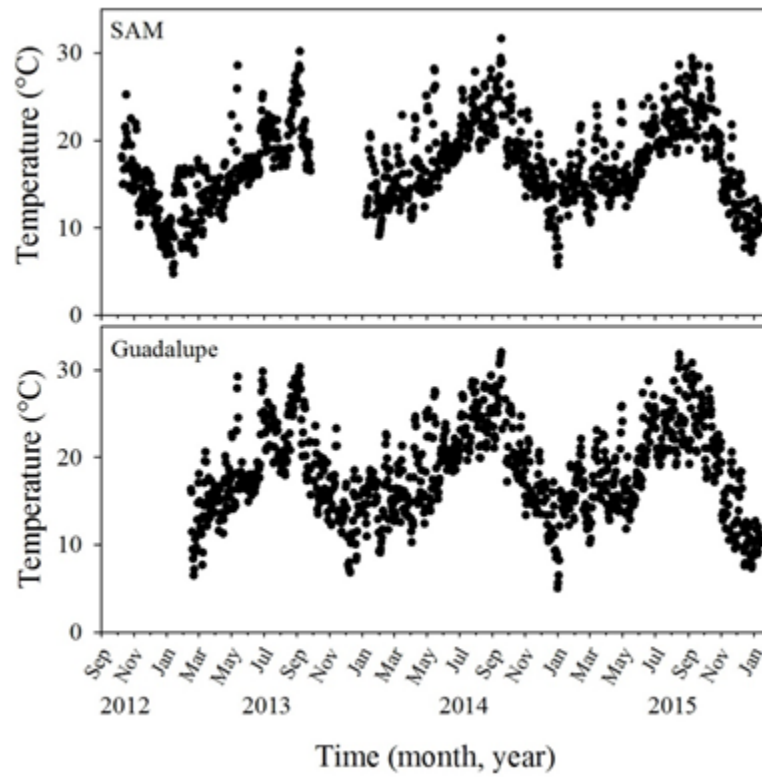


Figura 4.4. Temperatura promedio diaria del aire en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

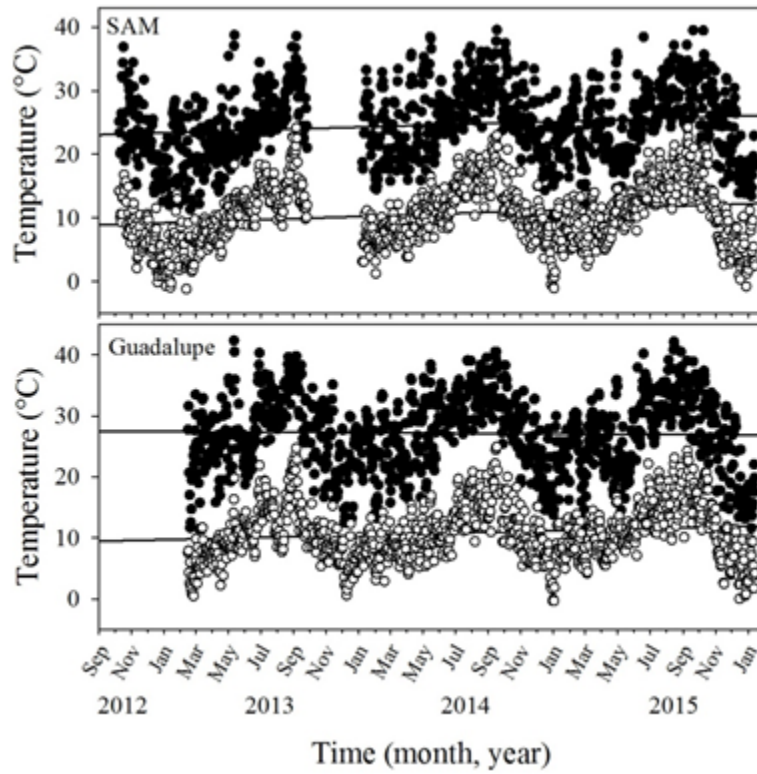


Figura 4.5. Temperatura máxima y mínima diaria en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

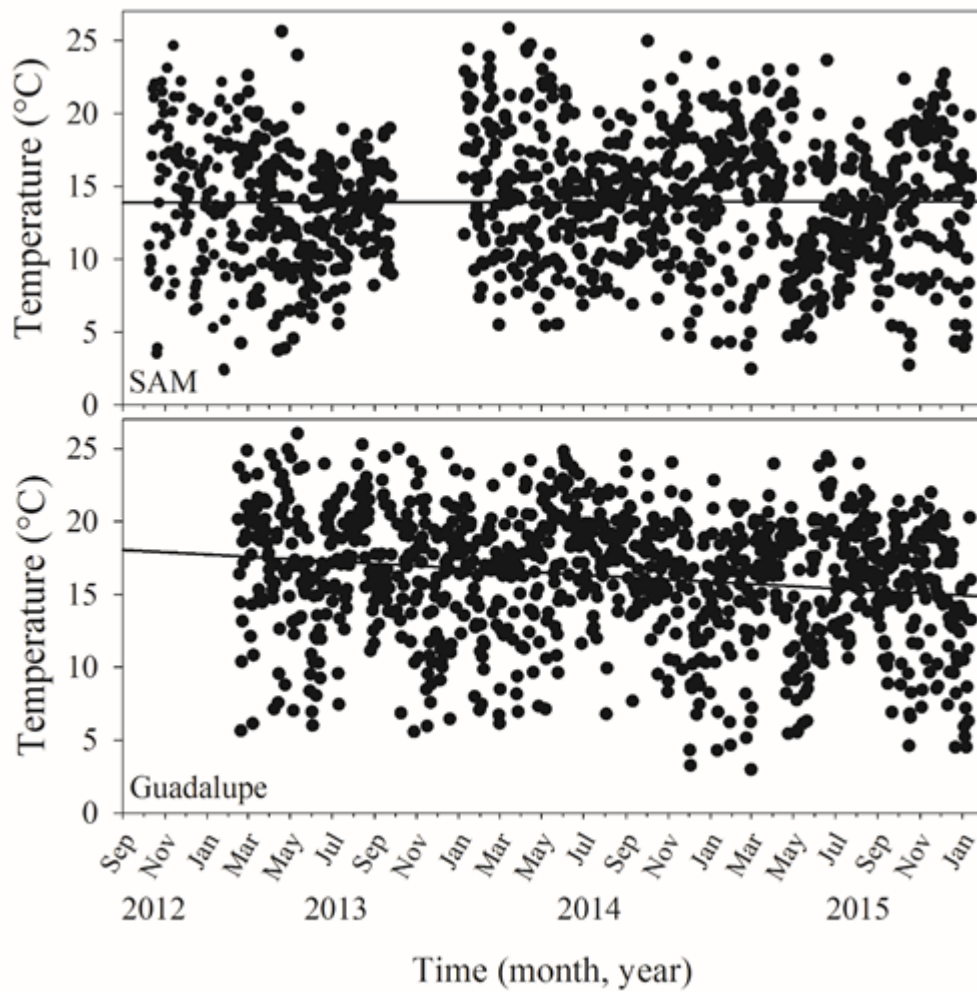


Figura 4.6. Amplitud del intervalo de temperaturas diarias en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

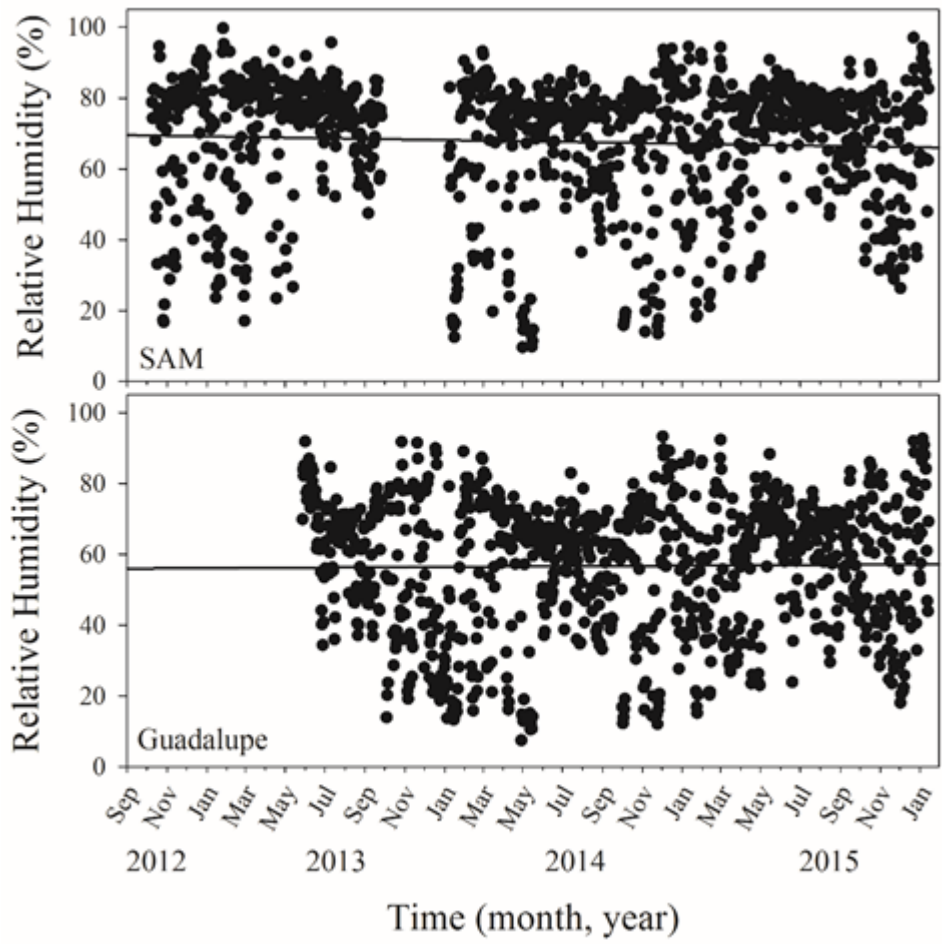


Figura 4.7. Humedad relativa promedio diaria en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

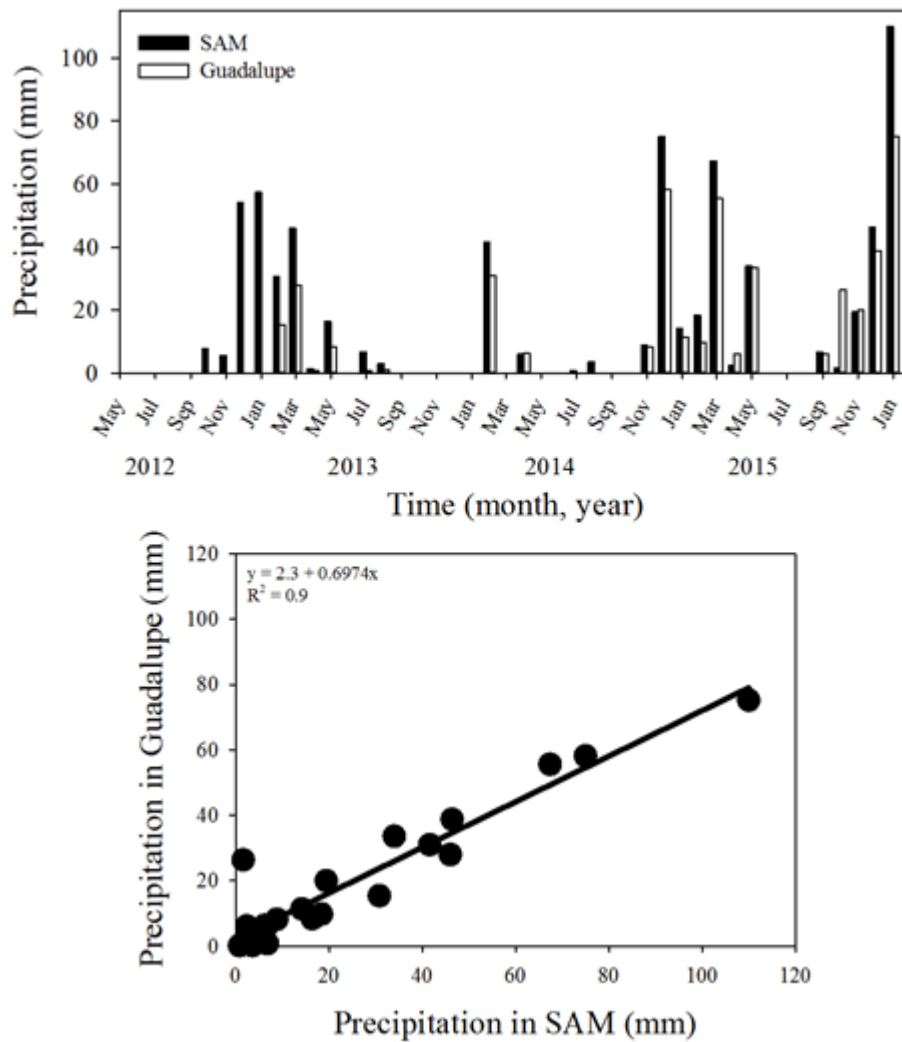


Figura 4.8. Precipitación pluvial mensual en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México, y correlación de la precipitación pluvial mensual en ambas zonas de estudio.

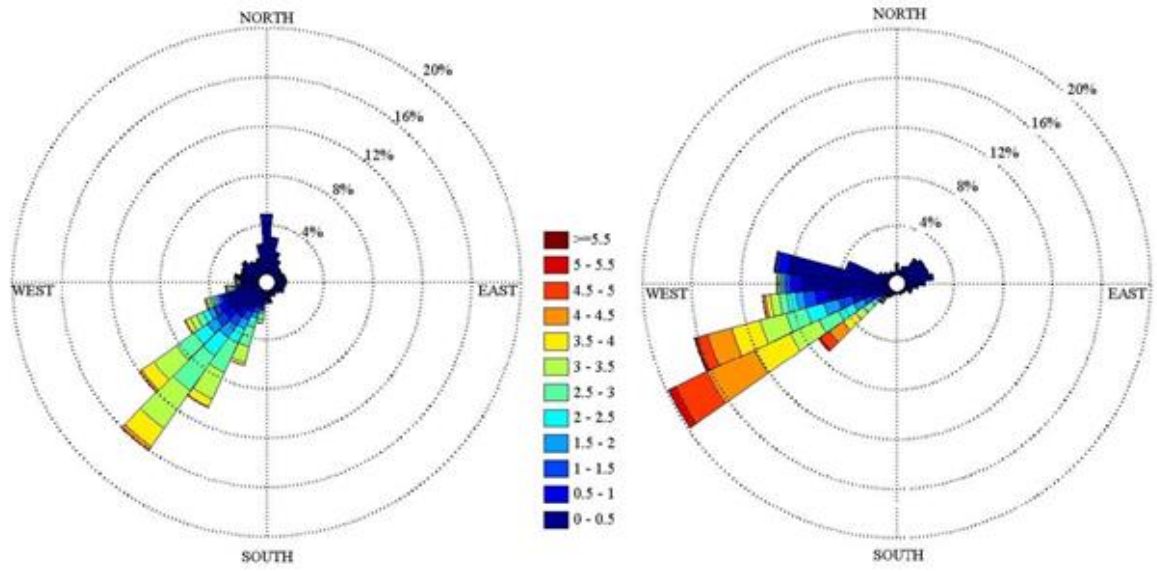


Figura 4.9. Frecuencia de la velocidad (m s^{-1}) y dirección del viento durante julio, agosto y septiembre en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

Capítulo 5. Maduración polifenólica de semillas de uva para vino de Baja California

Resumen

Los polifenoles de la piel y la semilla de la uva juegan un papel importante en las características organolépticas del vino. Los compuestos fenólicos localizados en la cubierta de la semilla, incluyen entre otros a la catequina, epicatequina y procianidinas. La concentración y polimerización de los polifenoles cambian a lo largo del periodo de maduración de la uva y pueden estar influenciados por las características climáticas. Estos cambios en la concentración durante el proceso de maduración finalmente modifican los atributos sensoriales de las uvas y el efecto de ellos sobre la astringencia de los vinos. El color de la semilla está fuertemente ligado con la concentración de los compuestos fenólicos por lo que cambios del color son utilizados para determinar la madurez de los polifenoles de la semilla y así determinar el mejor momento para la cosecha. No obstante, la importancia de los polifenoles en las características y calidad de los vinos, en México se desconoce la variación en la concentración de los polifenoles de la semilla de uva. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue el de evaluar el efecto del grado de madurez de la uva sobre la concentración y madurez de polifenoles en diferentes variedades de uva de Baja California.

Introducción

Los polifenoles de las uvas y los vinos en general se clasifican en flavonoides y no-flavonoides. Los polifenoles flavonoides comprenden entre otros a los antocianos, flavanoles y flavonoles. Los antocianos contribuyen directamente con el color de las uvas, mientras que los flavanoles (flavan-3-oles) son principalmente responsables de la astringencia y amargor en los vinos (Gawel 1998). Al igual que los flavanoles, los flavonoles contribuyen con la sensación de amargor en los vinos. Finalmente, los polifenoles no-flavonoides comprenden a los ácidos benzoicos, cinámicos y estilbenos.

Los polifenoles se encuentran en todas las estructuras de las uvas, sin embargo, la mayor concentración se observa en la piel y en las semillas de las uvas (Tabla 5.1). En la piel se presentan en mayor concentración los flavonoles, mientras que los flavan-3-oles se encuentran en mayor concentración en las semillas. En algunos vinos, especialmente los vinos tintos, los polifenoles de las semillas otorgan al vino las características de amargor y astringencia (Robichaud y Noble 1990).

Coombe (1992) describió el desarrollo de la uva como dos ciclos sigmoideos con un corto periodo y estabilidad entre ellos. El primer periodo inicia con el crecimiento de las bayas y el desarrollo de las semillas hasta llegar a su tamaño final. En esta primera fase, las proantocianidinas y sus monómeros (catequina y epicatequina) se acumulan en las diferentes estructuras de la semilla (Cadot *et al.* 2006) y en las células de la piel de las bayas (Amrani Joutei y Glories 1995). Durante la fase estacionaria, la baya no sufre cambios significativos, sin embargo, la semilla inicia el endurecimiento de la cubierta. En la última fase, se incrementa el tamaño de la baya, acumulando azúcares hasta llegar a su máximo en el periodo

de cosecha. Sin embargo, la concentración de antocianinas, catequina y epicatequina presentan su máxima concentración durante el envero y disminuye para el final del periodo de maduración, tanto en la piel como en las semillas, debido principalmente a la oxidación (Downey *et al.* 2003, Kennedy *et al.* 2000).

Las características y concentración de los polifenoles en la uva son alterados por diversos factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, entre otros. Los factores ambientales, como la topografía, el clima y las prácticas de cultivo, tienen una fuerte influencia en la concentración final y diversidad de polifenoles en las uvas (Spayd *et al.* 2002). La evidencia empírica ha demostrado que las temperaturas bajas durante la noche extendidas durante el periodo de maduración, promueven la acumulación de antocianos, mientras que las temperaturas elevadas disminuyen la concentración (Downey *et al.* 2006). En la semilla existe una acumulación de flavan-3-oles y proantocianidinas y estos compuestos son muy estables bajo diferentes condiciones de cultivo. Diferentes estudios muestran una asociación positiva entre la temperatura, el número de semillas y la concentración de proantocianidinas (Ewart y Kliwer 1977, Del Rio y Kennedy 2006). En otros experimentos donde se limita la presencia de luz con mallas, se observa un aumento de las proantocianidinas en la semilla de la variedad Pinot Noir, sin embargo, en la variedad Shiraz no se presentaron cambios (Cortell y Kennedy 2006).

Los compuestos fenólicos localizados en la cubierta de la semilla, incluyen a la catequina, epicatequina y procianidinas (polímeros de los flavan-3-ols). Los cambios de concentración de los polifenoles durante el desarrollo de la semilla se observan principalmente en los atributos sensoriales de las uvas y el efecto de ellos sobre la astringencia de los vinos. Sin embargo, la percepción de la astringencia también está

determinada por otros componentes del vino y por el grado de galohilación y de polimerización de los taninos (Kennedy 2008). Para poder determinar el grado de madurez de los polifenoles de la semilla y su posible efecto sobre la calidad del vino, se han desarrollado diferentes conceptos. El más comúnmente usado es el desarrollado por Ristic y Iland (2005), quienes determinaron que la madurez de la semilla es la relación entre el peso seco máximo y la concentración mínima de taninos que se pueden extraer. Sin embargo, la determinación de polifenoles es un proceso difícil y de alto costo para los viticultores en general, por lo que se ha usado el color y el sabor de la semilla para determinar su madurez. El color de la semilla está altamente relacionado con la concentración de los taninos y su oxidación. Por lo anterior, los enólogos usan este cambio de color para determinar la madurez de la semilla y así determinar el mejor momento para la cosecha (Ristic y Iland 2005). No obstante la importancia de los polifenoles sobre las características organolépticas y la calidad del vino, en México no se han realizado estudios para evaluar el efecto del clima sobre la madurez de los polifenoles de la semilla de las uvas. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue el de evaluar el efecto del grado de madurez de la uva, sobre la concentración de polifenoles y el color de la semilla, en diferentes variedades de uva de Baja California.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se efectuó durante dos periodos de producción (2014 al 2015) en viñedos comerciales (*Vitis vinifera*) en San Antonio de las Minas (SAM), Valle de Guadalupe (VG), Santo Tomás (ST) y San Vicente (SV), Baja California (Fig 5.1). Se utilizaron vides

plantadas en cordones de un brazo con sistema de espaldera. Los pasillos de los cultivos presentaron una distancia aproximada de 2.7 m y 1.2 m entre vides. Las plantas de la misma edad estaban dispuestas en diferentes orientaciones dependiendo de la topografía y zona de cultivo. El agua de riego se suministró desde abril hasta la fecha de cosecha utilizando riego por goteo.

Color de la semilla

Las semillas de las diferentes variedades de uva se extrajeron manualmente, se enjuagaron con agua destilada para eliminar pulpa adherida y se analizaron el mismo día. Un promedio de 80 semillas fue colocado aleatoriamente en una cuadrícula de 5 por 5 cm aleatoria para cada una de las variedades. Las cuadrículas con las semillas fueron digitalizadas utilizando un escáner HP 110. El color digital se determinó con el sistema rojo, verde y azul (RGB) con control de tinte, saturación y brillo (RGB-HSB). A esto se le conoce como la descripción electrónica del color en función del tinte, saturación y brillo. Los valores del tinte fluctúan de 0 a 360 grados, y la saturación y el brillo tiene valores de 0 a 100 % (Comcast Interactive Media 2009). Con estas medidas, todos los colores se pueden reproducir en cualquier editor de imagen. A partir de estos colores se generó una escala de colores para determinar la evolución de la madurez de la semilla.

Análisis químicos

Las variables de madurez de las uvas en los sitios de estudio se determinaron semanalmente a partir de la fecha de envero. Cada semana se recolectaron al azar aproximadamente 200-300 bayas en cada zona de estudio y se transportaron en una hielera con hielo al laboratorio para realizar los análisis químicos. Las uvas recolectadas se tomaron

de ambas zonas de los pasillos de cultivo, de la parte interna y externa del dosel, y de la parte superior e inferior de los racimos. Las uvas se estrujaron con la palma de la mano y se maceraron por 1 h. El mosto fue clarificado mediante centrifugación (6,000 g, 1 min) y se determinó la concentración de sólidos solubles con un refractómetro de mesa Abbe (Fisher Scientific Co.). La acidez titulable se determinó mediante titulación con NaOH 0.1 N hasta un punto de vire de 8.2, y el pH del mosto se determinó potenciométricamente (Thermo Orion 410) (Zoecklein *et al.* 1995). El nitrógeno disponible para la fermentación (YAN) se determinó por el método del formaldehído, mediante una titulación potenciométrica con NaOH 0.01 N.

Extracción de polifenoles

Las semillas fueron separadas de las uvas manualmente y limpiadas de cualquier residuo de pulpa. Las muestras fueron almacenadas a -24°C hasta el momento de la extracción. La extracción de los polifenoles se realizó colocando 3 g de semillas en 15 mL de una solución patrón de vino blanco. El patrón se preparó con etanol al 14%, 5 gL^{-1} de ácido tartárico y ajustada a un pH de 3.5. Las muestras se incubaron durante 18 días a temperatura ambiente simulando un periodo completo de fermentación alcohólica. Se tomaron muestras durante el primer día cada 4 horas y después cada 2 días para la determinación de los polifenoles totales y los polifenoles específicos mediante HPLC. Las muestras fueron congeladas y se analizaron al final de la extracción. Todos los reactivos usados en la extracción fueron de grado reactivo (Merck). La determinación de los polifenoles totales se realizó por el método colorimétrico de Folin – Ciocalteu. A partir de

un estándar de ácido gálico se creó una curva de calibración de 0 a 500 mg/L. Las muestras y el estándar (ácido gálico) se colocaron en tubos Eppendorf de 1.6 ml de capacidad, se agregaron 1000 μ L de agua destilada, 20 μ L de la muestra en el caso de los estándares, para las muestras de vino se agregaron 2 μ L, una vez mezclados se añadieron 100 μ L del reactivo de Folin–Ciocalteu se dejó reaccionar por 30 segundos. Finalmente se añadieron 300 μ L de una solución de carbonato de sodio al 20%. Se colocaron los tubos bien mezclados en una plancha de calentamiento a 40 °C por 30 min. Una vez terminada la incubación se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se determinó la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 765 nm mediante espectrofotometría (Shimadzu UV-1800) de doble haz de luz.

El análisis de HPLC fue realizado con un cromatógrafo AGILENT HP 1200 equipado con un detector de arreglo de diodos (DAD). Una columna Zorbax C18 de fase inversa de 250 mm de longitud y protegida por una precolumna de la misma materia fue empleada para la separación de los compuestos. La detección de los compuestos se realizó a 240 nm y el espectro de absorción fue grabado de los 210 a los 390 nm. El gradiente de solventes fue una combinación de acetonitrilo (B) y ácido acético al 1% en agua (A). Un gradiente lineal de solventes fue programado como se describe a continuación: 0–5 min, 95–85% A; 4–20 min, 85% A; 20–30 min, 85–75% A; 30–40 min, 75–5% A. El flujo de solvente permaneció a 1 mL/min. La columna mantuvo una temperatura de 25°C. La inyección de las muestras se llevó de manera automática con el automuestreador y con un volumen de inyección de 20 μ L. La identificación de los compuestos se realizó por la comparación del tiempo de retención de los estándares y las muestras. La concentración de los compuestos, se calculó a partir del área del pico y la concentración del estándar. Los estándares de ácido gálico, catequina, epicatequina fueron de grado HPLC (Sigma–Aldrich).

Datos climatológicos

Los datos climáticos se colectaron durante todo el año cada 15 minutos usando estaciones meteorológicas (HOBO U30, USA) localizadas en cada uno de los viñedos. El índice de winkler o grados día de crecimiento (GDD) se determinó por la suma de la temperatura por arriba de 10 °C ($GDD = \sum (T_{prom} - 10)$), que fue calculado del 1ero de abril al 31 de octubre (Winkler *et al.* 1974). El GDD fue calculado para determinar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones climáticas sobre las características químicas de la uva.

Tratamiento estadístico

Las diferencias estadísticas entre las características fisicoquímicas, GDD y las temporadas, se determinaron mediante un ANDEVA después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos. Todas las comparaciones múltiples de promedios se realizaron con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los coeficientes de correlación entre las variables fisicoquímicas y el color, se obtuvieron por medio de un análisis de correlación de Pearson.

Resultados

En general, se observó una fuerte correlación entre el color de la semilla y los parámetros fisicoquímicos (Tabla 5.2). La correlación más fuerte ($r 0.99$) se observó entre el color de la semilla y los GDD. La relación entre el color de la semilla y las variables GDD, SST, pH, AT y YAN presentaron los coeficientes de correlación más elevados para las uvas de SAM. En VG, la correlación entre el color de la semilla y las variables GDD, SST, pH y

AT presentaron los coeficientes de correlación más elevados, mientras la correlación con el menor valor, se presentó entre el color y el YAN en Nebbiolo. En Cabernet sauvignon de VG no se presentó una correlación significativa entre el color y el YAN durante 2015.

La mayor correlación entre las SAM y VG para la variedad Nebbiolo se presentó entre el color y GDD, las cuales presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el 2014 y 2015. La relación entre el color y SST solo presentó diferencias significativas en 2015, mientras que el pH, AT y YAN no se observaron diferencias significativas. Por el contrario, para Cabernet sauvignon se presentaron diferencias significativas en la relación color- GDD y color-YAN para el 2014 y 2015, mientras que para el color-SST y color-AT solo se presentaron diferencias en el 2015 (Tabla 5.3).

La correlación que se observó entre el color rojo de las semillas y los GDD, pH, SST fue negativa a lo largo del periodo de maduración, mientras que para el pH y YAN se observaron correlaciones positivas (Fig 5.2). La correlación más alta se presentó entre el color de la semilla y GGD ($r -0.87$), SST ($r -0.81$) y AT ($r 0.80$). Por el contrario, la correlación más baja se presentó entre el color de la semilla, y el pH y el YAN del mosto.

Una disminución de los valores de color (RGB) de las semillas a medida que se avanza la maduración de las uvas, correspondieron al cambio en la madurez de la semilla. Valores elevados de color, corresponden a tonalidades verdes de la semilla, mientras que valores más bajos de color, correspondieron a tonos de semilla amarillo y marrón. Los tonos marrones de la semilla se oscurecen más a medida que aumenta la madurez química de las bayas. En Cabernet Sauvignon (Fig 5.3) se observó que el cambio de color rojo de las semillas para el 2014 fue muy similar entre SAM y VG, mientras que, en el 2015, SAM presento valores de

color rojo más bajos que VG. El color de la semilla en Nebbiolo durante el periodo de maduración de 2014 y el desarrollo de las variables fisicoquímicas no presentaron diferencias significativas entre SAM y VG. Contrario a lo que se observa para el año 2015, donde en VG presento los valores más elevados de color y SAM se presentó los más bajos (Fig 5.3).

La variedad Tempranillo en SAM presento valores de color rojo mayores que en Syrah durante el periodo 2014, mientras que durante el 2015 no se presentaron diferencias significativas entre estas dos variedades. Sin embargo, el comportamiento de las variables fisicoquímicas durante el 2014 y 2015 presentaron un comportamiento muy similar (Fig 5.4).

A partir de los valores de color (RGB) de las semillas, se formularon los colores que correspondían a cada etapa de la maduración de la semilla (Fig 5.5). La escala A, es correspondiente para las variedades Nebbiolo, Cabernet sauvignon y Syrah. La escala de colores B es de Tempranillo. En ambos casos, las escalas están asociadas con los GDD correspondientes para cada etapa de maduración presente en la semilla.

La maduración de la semilla también está asociada a la concentración de los polifenoles contenidos en ellas. Estos polifenoles, están distribuidos en diferente forma dentro de la baya (Fig 5.6). La piel de la baya presentó la mayor concentración de polifenoles totales, mientras que la concentración que se presentó en la semilla es aproximadamente 5 veces menor. Los protocolos que contenían solo pieles y pieles más semillas no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

La variedad Tempranillo presentó una disminución de la concentración de polifenoles totales hacia el final de la maduración, el mismo comportamiento se observó para el ácido gálico, catequina y epicatequina (Fig 5.7). De manera opuesta, Cabernet sauvignon y Merlot

presentaron un aumento en la concentración de los polifenoles totales al final de la maduración, mientras que Nebbiolo no mostró cambios. Se observó una disminución en la concentración del ácido gálico, catequina y epicatequina para Nebbiolo, Tempranillo y Cabernet sauvignon. Estas variedades presentaron la menor concentración de polifenoles en la fecha de cosecha. Por el contrario, la concentración de los polifenoles totales, ácido gálico, catequina y epicatequina en la semilla de Merlot aumentaron a lo largo del proceso de maduración.

La concentración de polifenoles de la semilla aumentó exponencialmente durante el proceso de fermentación (Fig 5.8). La menor concentración de polifenoles totales, se observó en Tempranillo, mientras que en Cabernet sauvignon, Merlot y Nebbiolo se observó una concentración similar durante todo el proceso de extracción. La concentración de ácido gálico y epicatequina, fueron más elevadas en Merlot, mientras que Cabernet sauvignon presentó la mayor concentración de catequina. Nebbiolo y Tempranillo presentaron la menor concentración de ácido gálico, catequina y epicatequina respectivamente, durante todo el proceso de extracción.

Discusiones

Durante el proceso de crecimiento y desarrollo de la semilla, se presentan cambios, principalmente en el tamaño, el color de la cubierta y la forma de la semilla. En general, durante el periodo de maduración, que se presentó entre los 800 y 1600 GGD, se observó que la concentración de SST aumenta, la AT disminuye y el color de la semilla pasa de un color verde herbáceo a un café oscuro. Estas características siempre presentaron una alta

correlación ($p < 0.05$). Sin embargo, la menor correlación se presentó entre el color y el YAN. Para las dos variedades (Nebbiolo y Cabernet sauvignon) la mejor correlación se presentó en SAM durante los dos periodos (2014-2015) donde las condiciones de temperatura son estables y más frescas. Sin embargo, en el VG las condiciones ambientales son más cálidas y por esta razón el coeficiente de correlación entre las variables fue menor. Estos resultados concuerdan con lo descrito por Meléndez *et al.* (2013), donde se menciona que la relación entre las características fisicoquímicas y el color de la semilla están fuertemente influenciado por el clima de la región de cultivo.

La implicación más fuerte de la relación entre el color y la maduración de la semilla, determinó que el color de las semillas durante la maduración pudo ser un indicador no solo de la madurez de la uva, sino también de las características generales de la uva. Como lo indica Ristic & Iland (2005), un engrosamiento y endurecimiento de la semilla, así como un oscurecimiento del color de la semilla, están relacionados directamente con el tiempo de cosecha de la uva. Por lo que a partir del color (RGB) de las semillas obtenido en este trabajo, se puede sugerir que al llegar un valor de color rojo entre 85 y 80, la uva estará lista para la cosecha en términos de SST y AT.

Al establecer la relación del color con respecto a GDD, pH, SST, acidez total y YAN sin distinguir entre variedades, se encontró que la correlación más elevada ($r = -0.87$) fue entre el color y los GDD, debido a que el oscurecimiento de la semilla depende del tiempo de maduración. Sin embargo, la variabilidad de las características fisicoquímicas depende principalmente de factores ambientales y de la variedad de la uva. La correlación entre el color, SST y AT son muy similares ($r = -0.81$ y $r = 0.80$). Carwthon y Morris (1982) determinaron que la concentración de SST y AT está fuertemente relacionada al

oscurecimiento de la semilla, pero presenta aún mejor relación con el tamaño y el número de semillas. La menor correlación se presentó entre el color y el pH ($r = -0.66$) debido a la variación que presenta cada una de las variedades previo y durante el envero. Langridge y McWilliam (1967) determinaron que temperaturas bajas los valores de pH son más bajos, por el contrario, bajo condiciones de temperatura más cálidas, es un hecho la disminución de los ácidos, el aumento en el pH (Ruffner 1982).

Posteriormente, durante la maduración y previo a la cosecha, los valores de pH tienden a ser más homogéneos por lo que existe una mejor correlación entre el pH y el color. La correlación entre el color y el YAN, presentó una baja correlación previa al envero. Verdenal *et al.* (2014) encontró que la concentración del YAN tiene mejor relación con el año de cosecha, sin embargo, para Cabernet sauvignon, cultivada en diferentes climas y con diferentes portainjertos, no se encontraron diferencias significativas (Huang y Ough 1989). Por otra parte, Hannam (2013) demostró que, con la fertilización, la concentración de YAN en la uva aumentó entre el 40 y 90 %. Por lo anterior, la concentración del YAN se debe a múltiples factores, principalmente a la influencia en el manejo del viñedo, las características del portainjerto y los regímenes de fertilización y riego. Esta característica multifactorial, explicó la baja correlación entre el color y el YAN.

La diferencia en la concentración de los compuestos fenólicos, fue resultado del proceso de maduración durante las etapas fenológicas de la uva, la duración de cada estado de crecimiento varía de acuerdo con las características del viñedo y las condiciones del medio ambiente. Los compuestos fenólicos en las semillas incluyen principalmente a los flavan-3-oles (catequina, epicatequina) y procianidinas. Los polifenoles de la semilla presentan un máximo de concentración previo al envero, manteniéndose así hasta aproximadamente cuatro

semanas antes de la cosecha, para luego disminuir rápidamente (Kennedy *et al.* 2000). Durante las tres semanas previas a la cosecha, la concentración de los polifenoles totales en Merlot y Cabernet sauvignon aumentaron hasta los 200 mgL⁻¹. De manera similar, Lorain *et al.* (2011) no encontró diferencias significativas en la concentración de polifenoles totales desde el envero hasta la cosecha para Merlot y Cabernet sauvignon. Esto coincide con nuestros resultados donde se estableció la fuerte similitud genética entre las dos variedades y la relación que existe con los estados fenológicos (Wolkovich *et al.* 2017). La concentración de los flavan-3-oles (catequina y epicatequina) disminuyeron en un 75% para Cabernet sauvignon durante las tres últimas semanas. Los resultados encontrados por Kennedy *et al.* (2000) presentaron una disminución del 90% de los flavan-3-oles en las últimas cuatro semanas antes de la cosecha, siendo muy consistentes con los encontrados en este trabajo.

La variedad Tempranillo presentó una disminución de los polifenoles totales llegando hasta los 100 mg L⁻¹ y una disminución en la concentración de catequina y epicatequina. La concentración de catequina siempre fue más elevada que la epicatequina y la menor concentración se observó en el ácido gálico. Genebra *et al.* (2014) encontró que, en Tempranillo, la biosíntesis de estos compuestos se detiene después del envero, lo que hace que disminuyan hacia la cosecha. Por otra parte, Kyraleou *et al.* (2017) encontró que esta disminución de los flavan-3-oles, está relacionada con procesos oxidativos. Contrario a los resultados anteriores, Nebbiolo no presentó cambios en la concentración de los polifenoles en la semilla durante las últimas tres semanas previas a la cosecha. Asprodi (2014) describió un comportamiento similar para la variedad Nebbiolo, donde en las últimas tres semanas previas a la cosecha no se presentaron cambios en la concentración de los flavan-3-oles. En

general se considera que las uvas con semillas que no han madurado apropiadamente producen vinos con mayor astringencia y amargor debido a que las semillas pueden liberar una mayor cantidad de polifenoles. Es por esto que muchos productores de vino están considerando la madurez fenólica de las uvas y en especial la de las semillas como uno de los parámetros más importantes para definir la fecha de la cosecha.

Los compuestos polifenólicos en las semillas de la uva, incluyen a la catequina, epicatequina y procianidinas (Taninos). Los cambios en el desarrollo de la semilla impactan de manera muy importante los atributos sensoriales de las uvas. El efecto de los taninos de la semilla en el vino está asociado directamente con la astringencia y esta puede ser modificada dependiendo del grado de polimerización de estos. En general, los productos de oxidación entre los polifenoles, carbohidratos o proteínas, así como la disminución de estos durante la maduración, promueven cambios en las propiedades sensoriales de los vinos (Fredes *et al.* 2010).

La concentración de los polifenoles totales en la semilla, presentó un crecimiento exponencial hasta el día 16 de extracción, siendo la variedad Tempranillo, la que presentó la menor concentración (100 mg L^{-1}), mientras que el Nebbiolo, Cabernet sauvignon y Merlot obtuvieron la mayor concentración (200 mg L^{-1}). Gombau *et al.* (2020) en su trabajo obtuvo resultados similares, donde el Tempranillo presentó la menor concentración, mientras que Merlot fue la variedad con mayor concentración, seguida de Cabernet sauvignon. La concentración de catequina y epicatequina, alcanzaron la mayor concentración a los 7 días de fermentación, por lo que en fermentaciones mayores de 8 días se puede decir que se obtuvo la máxima concentración de los flavan-3-oles. Llaudy (2008) en experimentos de

fermentación simulada en semillas, encontró que la mayor concentración de polifenoles se obtuvo a los 10 días.

La mayor concentración de los flavan-3-oles, se presentó en Cabernet sauvignon y Merlot, mientras que la menor concentración se presentó en Nebbiolo y Tempranillo. Gombau *et al.* (2020) observó la mayor concentración en Merlot, 25% más que Cabernet sauvignon y en Tempranillo, la menor concentración, 65% menos que Merlot. Mientras que Chira *et al.* (2009) observó que la menor concentración de monómeros de flavan3oles en Cabernet sauvignon y Merlot, se presentó bajo condiciones de un estrés hídrico elevado. Esto indica que las semillas de Merlot pueden liberar mayores cantidades de compuestos fenólicos en contraste con las semillas de Tempranillo que liberan la menor cantidad. Esta diferencia en la capacidad de liberar taninos, no solo está definida por las características genéticas que condicionan el contenido de los compuestos fenólicos de las diferentes variedades sino también por la proporción entre la semilla y la uva (Gil *et al.* 2012). Además, que el grado de lignificación de la semilla que está relacionado directamente con el grado de madurez, también afecta directamente la extractabilidad de los polifenoles (Cadot *et al.* 2006). En general el grado de madurez es considerado como la característica que más influencia tiene sobre la composición fenólica en los vinos tintos. Por lo tanto, en uvas que no lograron la madurez adecuada, se presenta una baja extractabilidad de los polifenoles de la piel y una alta extractabilidad de las semillas, afectando directamente a la astringencia y el amargor de los vinos (Llaudy *et al.* 2007).

Literatura Citada

- Amrani Joutei, K., and Y. Glories. 1995. Tannins and anthocyanins of grape berries: Localization and extraction technique. *Revue Française d'Oenologie* 153, 28-31.
- Asproudi A, Piano F, Anselmi G, Di Stefano R, Bertolone E and Borsa D 2014. Proanthocyanidin composition and evolution during grape ripening as affected by variety: Nebbiolo and Barbera CV. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 49, 59-69.
- Cadot, Y.; Miñana-Castelló, M.T.; Chevalier, M 2006. Anatomical, histological, and histochemical changes in grape seeds from *Vitis vinifera* L. cv Cabernet franc during fruit development. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 9206–9215.
- Chira K, Schmiauch G, Saucier S, Fabre S and Teissedre PL. 2009. Grape Variety Effect on Proanthocyanidin Composition and Sensory Perception of Skin and Seed Tannin Extracts from Bordeaux Wine Grapes (Cabernet Sauvignon and Merlot) for Two Consecutive Vintages (2006 and 2007). *J. Agric. Food Chem*, 57, 545–553.
- Comcast Interactive Media. 2009. Relationships between HSB and RGB color descriptions and the Java builtin colors. <http://home.comcast.net/~edabramson/14ColorTest/HSB-and-RGB-Colors>.
- Coombe, B.G. 1992. Research on Development and Ripening of the Grape Berry. *American Journal of Enology and Viticulture* 43 (1), 101-110.
- Cortell, J.M.; Kennedy, J.A. 2006. Effect of shading on accumulation of flavonoid compounds in (*Vitis vinifera* L.) pinot noir fruit and extraction in a model system. *J. Agric. Food Chem.* 54, 8510–8520.

- Del Rio, J.; Kennedy, J. 2006. Development of proanthocyanidins in *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir grapes and extraction into wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 2, 125–132.
- Downey, M.O.; Dokoozlian, N.K.; Krstic, M. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: A review of recent research. *Am. J. Enol. Vitic.*, 3, 257–268.
- Downey, M.O.; Harvey, J.S.; Simon, R. 2003. Analysis of tannins in seeds and skins of Shiraz grapes throughout berry development. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 9, 15–27.
- Ewart, A.; Kliewer, W. 1977. Effects of controlled day and night temperatures and nitrogen on fruit-set, ovule fertility, and fruit composition of several wine grape cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.*, 28, 88–95.
- Fredes C, Von Bennwitz E, Holzapfel E, and Saavedra F. 2010. Relation between seed appearance and phenolic maturity: a case study using grapes cv Carmenere. *CHIL. J. AGR. RES. - VOL. 70 - N° 3*
- Gawel, R. 1998. Red wine astringency: a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4, 74–98.
- Genebra T, Santos R R, Francisco R, Pinto-Marijuan M, Brossa R, Serra A T, Duarte CMM, Chaves MM1 and Zarrouk O 2014. Proanthocyanidin Accumulation and Biosynthesis Are Modulated by the Irrigation Regime in Tempranillo Seeds. *Int. J. Mol. Sci.*
- Gombau J, Pons-Mercadé P, Conde M, AsbiroL, Pascual O, Gómez-Alonso S, García-Romero E, Miquel Canals J, Hermosín-Gutiérrez J, and Zamora F. 2020. Influence

of grape seeds on wine composition and astringency of Tempranillo, Garnacha, Merlot and Cabernet Sauvignon wines. *Food Sci Nutr.*; 8:3442–3455.

Kennedy, J. 2008. Grape and wine phenolics: Observations and recent findings. *Ciencia e Investigación Agraria* 35:107-120.

Kliewer, W. 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor Grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 28, 96–103.

Kennedy, J., Troup, G., Pilbrow, J., Hutton, D., Hewitt, D., Hunter, C., Ristic, R., Iland, P., Jones, G., 2000. Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6, 244–254.

Kyraleou M, Kallithraka S, Theodorou N, Teissedre PL, Kotseridis Y and Koundouras S. 2017. Changes in Tannin Composition of Syrah Grape Skins and Seeds during Fruit Ripening under Contrasting Water Conditions, *Molecules*, 22.

Meléndez, E., Ortiz, M.C., Sarabia, L.A., Íñiguez, M. & Puras, P., 2013. Modelling phenolic and technological maturities of grapes by means of the multivariate relation between organoleptic and physicochemical properties. *Anal. Chem.* 761, 53-61.

Ristic R, Iland PG. 2005. Relationships between seed and berry development of *Vitis Vinifera* L. cv Shiraz: developmental changes in seed morphology and phenolic composition. *Austr J Grape Wine Res* 11:43–58

Robichaud, J.L., and A.C. Noble. 1990. Astringency and bitterness of selected phenolics in wine. *J. Sci. Food Agric.* 53:343-353.

Spayd, S.; Tarara, J. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. Am. J. Enol. Vitic, 3, 171–182.

Tabla 5.1.- Localización y concentración de los compuestos fenólicos durante las diferentes etapas fenológicas de la uva.

Compuesto	Concentración			Ubicación	Crecimiento	Escala Fenológica	
	Piel	Pulpa	Semilla			Envero	Maduración
No Flavonoide							
Acidos							
Hidroxicunamicos	++	+++	++	Pulpa	+++	+	+
Acidos							
Hidroxibenzoicos	+	-	++	Pulpa y semilla			
Estilbenos	+++	+	++	Piel y semilla	+	++	+++
Flavonoides							
Flavonoles	++	-	-	Piel y semilla	+	+++	++
Flavan-3-oles	++	+	+++	Piel y semilla	++	+++	++
Antocianinas	+++	-	-	Piel	-	+	+++
Muy abundante (+++) Ausencia (-)						(Teixeira et al 2013)	

Tabla 5.2.- Correlación entre el color de la semilla, las variables fisicoquímicas y los GDD para las variedades de uva Nebbiolo, Cabernet sauvignon, Syrah y Tempranillo durante 2014 y 2015 en SAM y VG.

	Coef. Correlación		Coef. Correlación			Coef. Correlación		Coef. Correlación			Coef. Correlación		Coef. Correlación		
	Nebbiolo	SAM 14/15	valor P	VG 14/15		valor P	Cabernet	SAM 14/15	valor P		VG 14/15	valor P	Syrah	SAM 14/15	valor P
	r.		r.			r.		r			r			r	
Color-GDD	-0.941	0.006	-0.997	0.003		-0.890	0.007	-0.998	0.000		-0.954	0.001		-0.985	0.010
Color-Color	0.922	0.009	0.910	<u>0.800</u>		0.975	0.000	0.922	0.009		0.950	0.001		0.975	0.020
Color-pH	-0.926	0.006	-0.913	<u>0.070</u>		-0.917	0.003	-0.993	0.001		-0.908	0.004		-0.862	<u>0.100</u>
Color-SST	-0.997	0.009	-0.990	0.009		-0.959	0.001	-0.987	0.000		-0.960	0.001		-0.990	0.010
Color-AT	0.900	0.001	0.977	0.002		0.937	0.002	0.914	0.005		0.983	0.001		0.986	0.010
Color-YAN	0.954	0.002	0.864	<u>0.100</u>		0.935	0.002	0.560	<u>0.240</u>		0.833	0.020		0.930	<u>0.069</u>

Valores significativamente diferentes (P<0.05)

Tabla 5.3.- Correlación entre el color de la semilla, las variables fisicoquímicas y los GDD para Nebbiolo y Cabernet sauvignon, entre SAM y VG.

Nebbiolo SAM/VG	Coef. Correlación			Cabernet SAM/VG	Coef. Correlación		
	r	valor P			r	valor P	
Color-GDD	-0.962	0.001	a,b	Color-GDD	-0.925	0.008	a,b
Color-Color	0.909	0.030	b	Color-Color	0.950	0.003	b
Color-pH	-0.820	<u>0.089</u>		Color-pH	-0.818	<u>0.051</u>	
Color-SST	-0.988	0.010	b	Color-SST	-0.985	0.003	b
Color-AT	0.858	<u>0.060</u>		Color-AT	0.963	0.002	b
Color-YAN	0.772	<u>0.120</u>		Color-YAN	0.947	0.004	a,b
(a) diferencias para 2014, (b) diferencias para 2015.							

Valores significativamente diferentes (P<0.05)

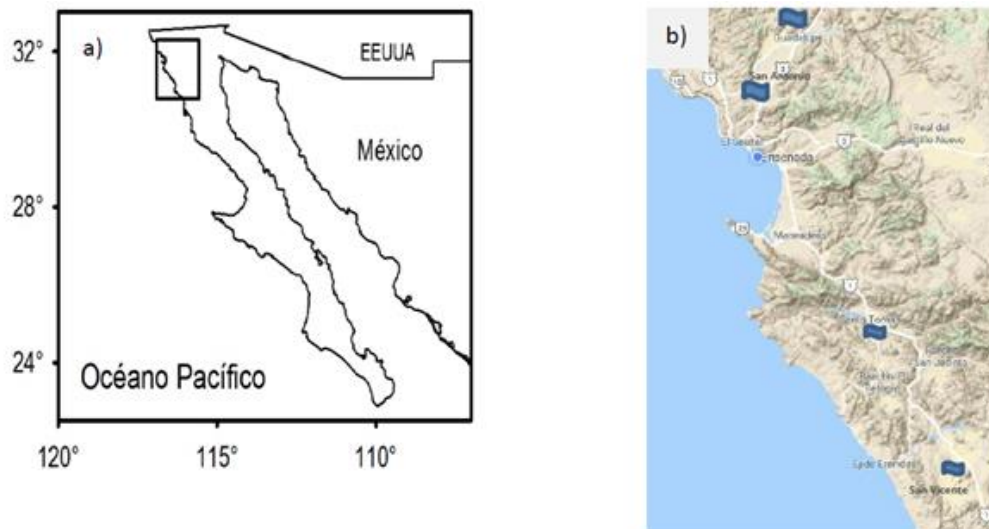


Figura 5.1.- Localización del área de estudio: a) Estado de Baja California, México, b) Localidades en el municipio de Ensenada, B.C., México. Al norte, el Valle de Guadalupe (VG), San Antonio de las Minas (SAM) y al sur, San Vicente (SV) y Santo Tomás (ST).

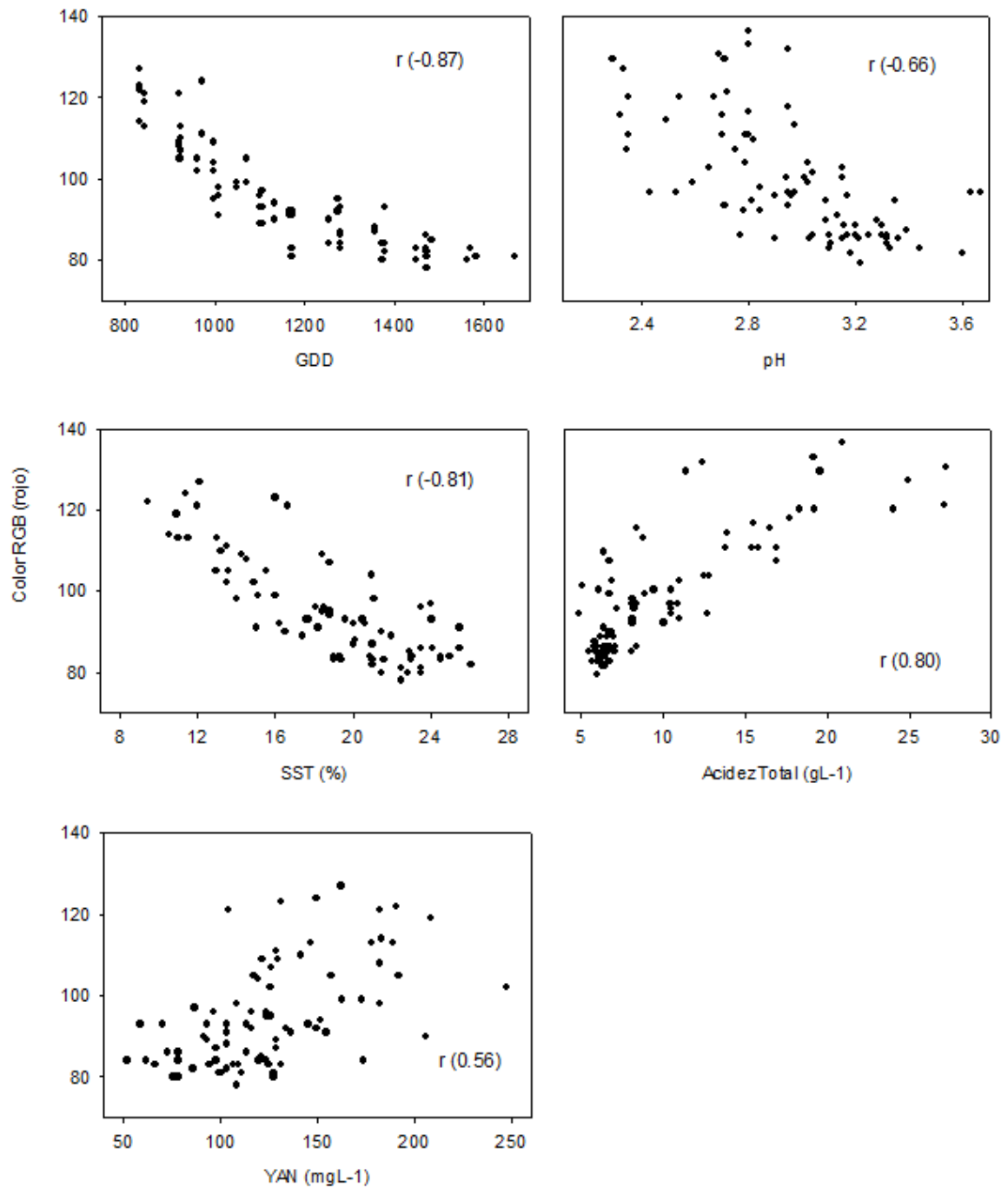


Figura 5.2.- Correlación, entre las variables fisicoquímicas y el color de la semilla (rojo), durante el periodo de maduración de la uva.

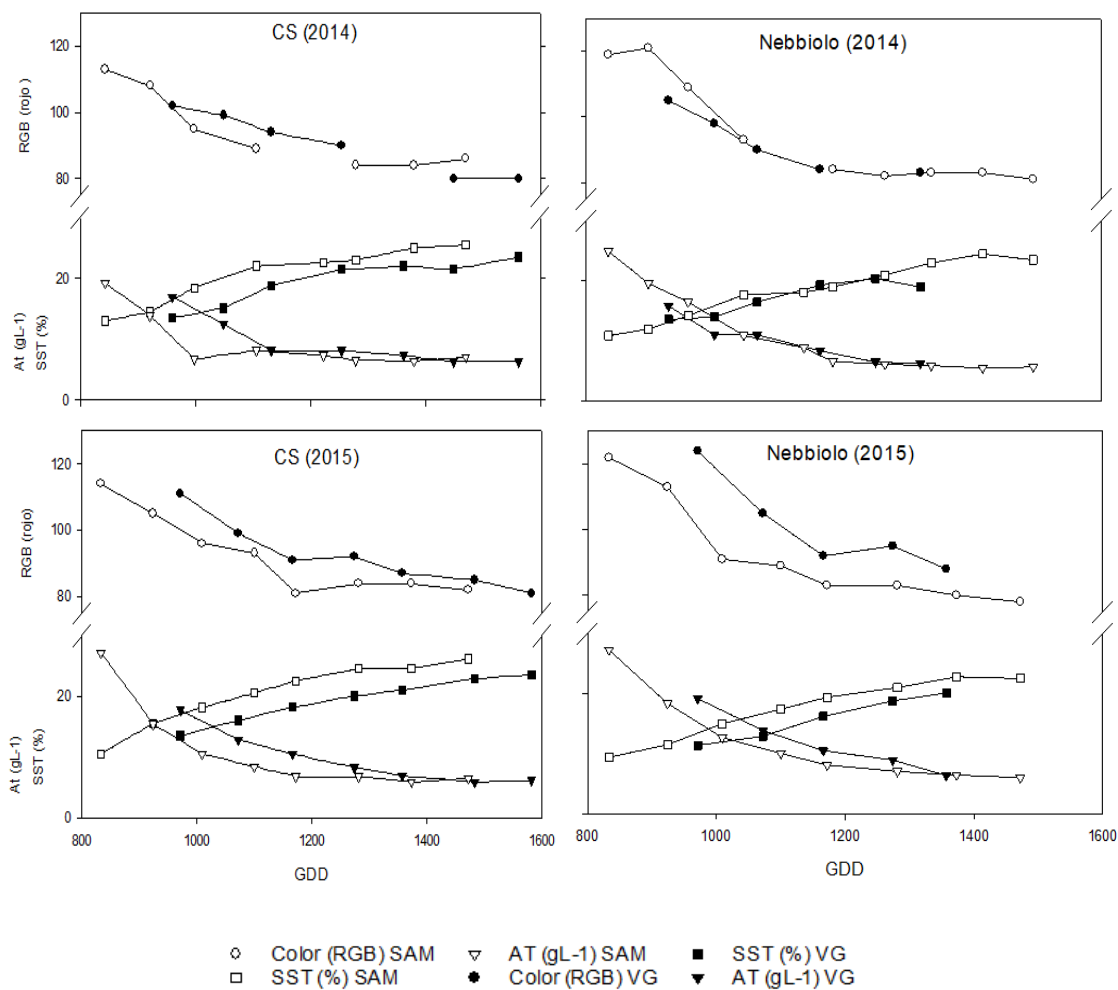


Figura 5.3.- Relación entre las variables fisicoquímicas y el color de la semilla, durante el periodo de maduración de la uva Cabernet sauvignon y Nebbiolo durante 2014 y 2015.

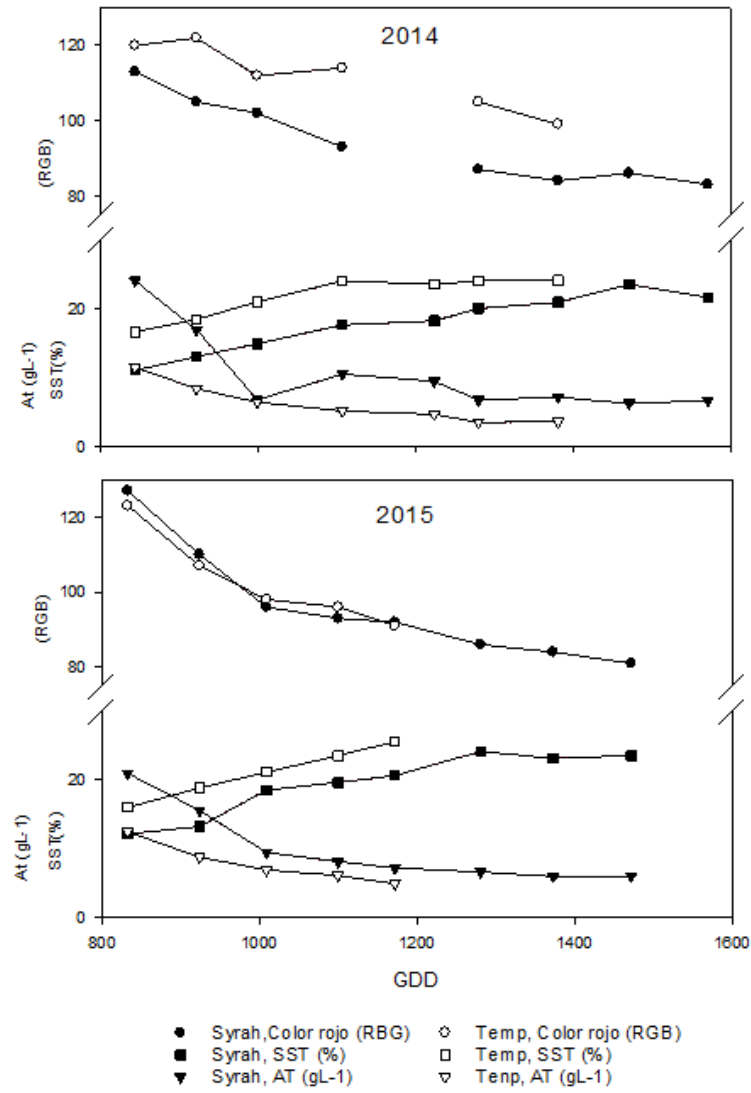


Figura 5.4.- Relación entre las variables fisicoquímicas y el color de la semilla, durante el periodo de maduración de la uva Syrah y Tempranillo durante 2014 y 2015 en SAM.

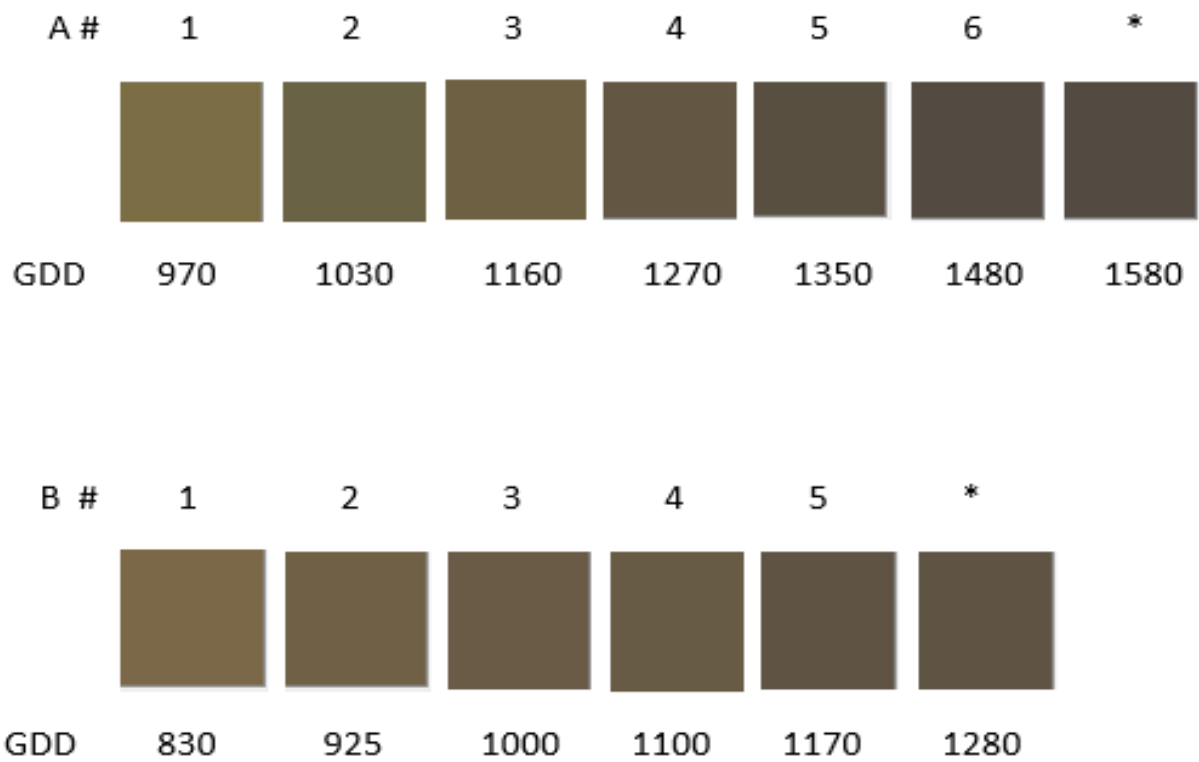


Figura 5.5.- Escala del color de la semilla para: A) Nebbiolo, Cabernet y Syrah y B) Tempranillo durante el tiempo de maduración de la uva y su relación con los GDD.

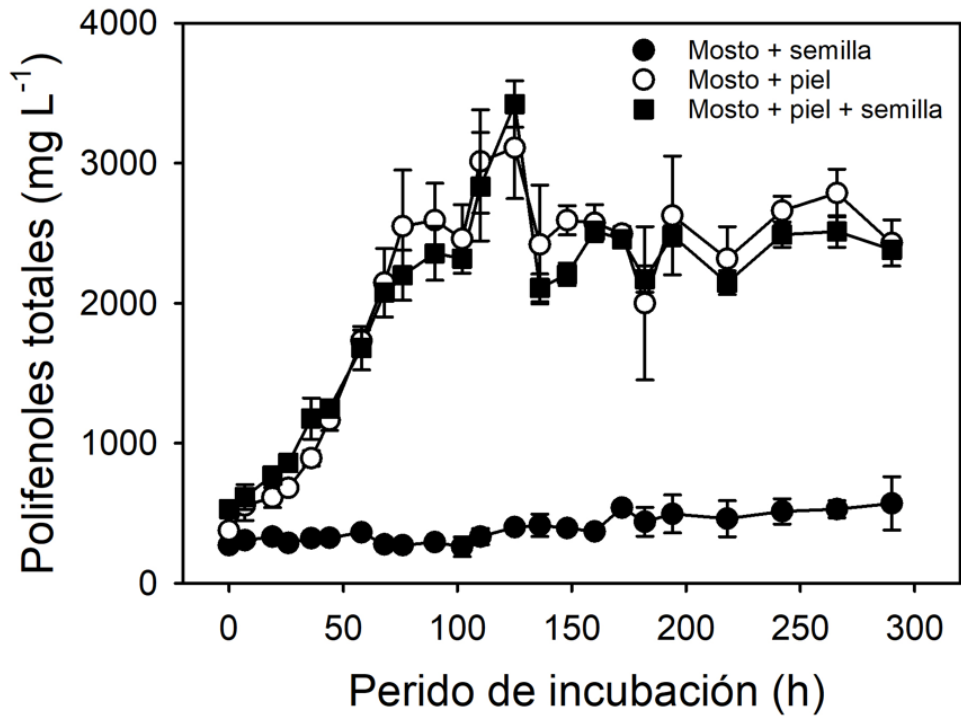


Figura 5.6.- Concentración de polifenoles extraídos de la semilla, piel y de la semilla y piel durante la fermentación.

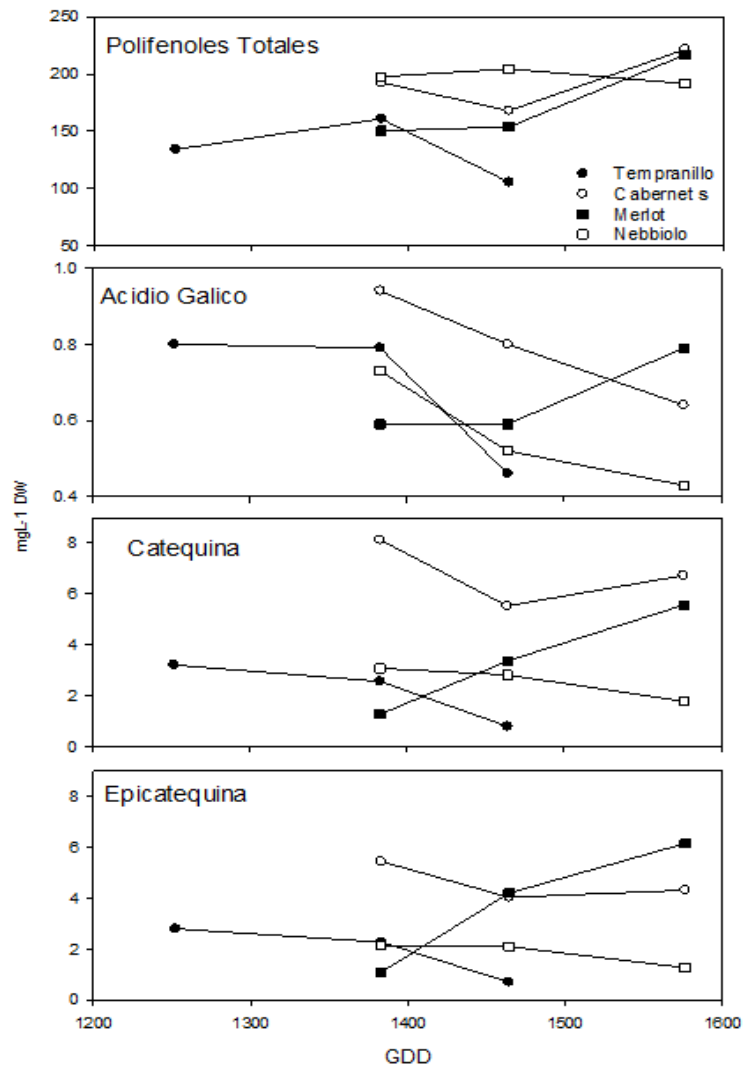


Figura 5.7. Concentración de los polifenoles totales, ácido gálico, catequina y epicatequina en semillas de Tempranillo, Cabernet sauvignon, Merlot y Nebbiolo, durante tres semanas previo a la cosecha.

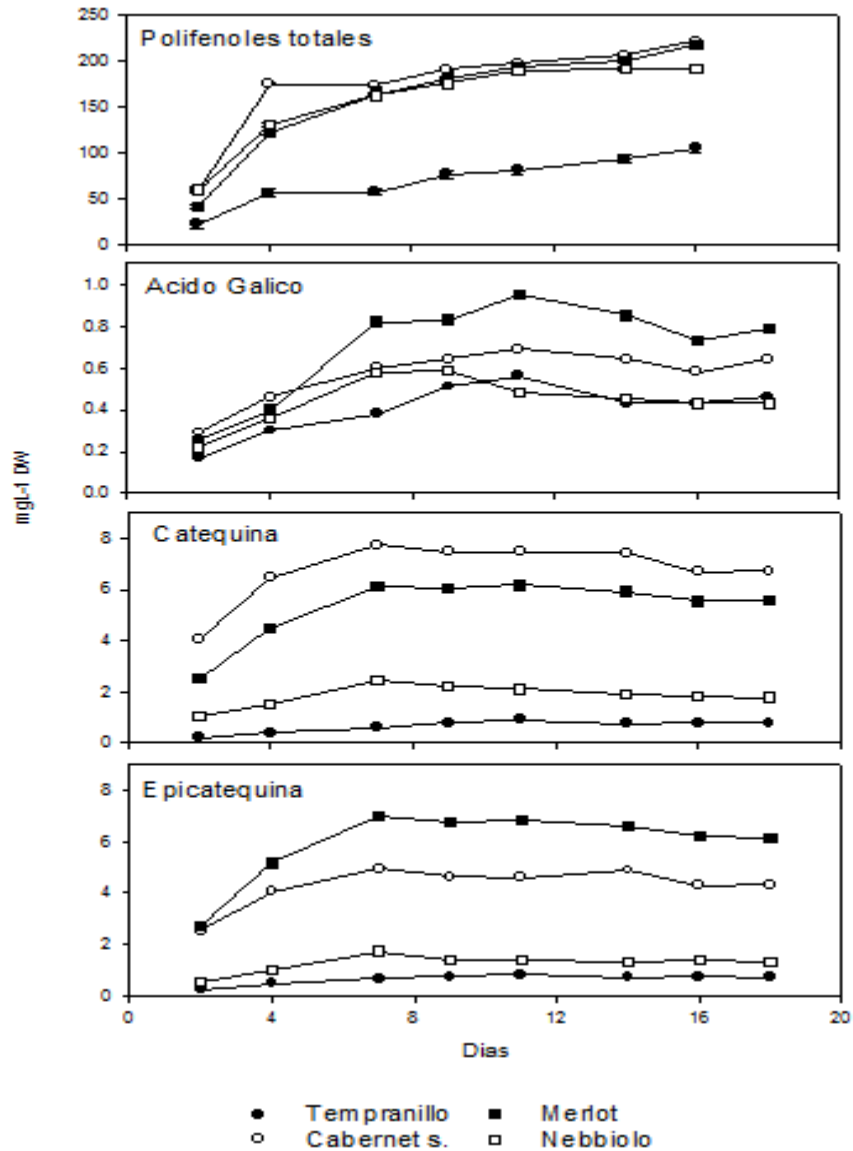


Figura 5.8. Concentración de los polifenoles totales, ácido gálico, catequina y epicatequina en semillas de las diferentes variedades de uva, durante la extracción en una simulación del proceso de fermentación.

Capítulo 6. Conclusiones y Relevancia

La vid está situada en la clase Magnoliopsida, en el orden Vitales, de la familia Vitaceae, y género *Vitis*. Sin embargo, las características climáticas específicas para el desarrollo de la vid, limitan su cultivo a zonas con rangos climáticos estrechos. Dentro de estos límites, las diferentes regiones vitivinícolas tienen características climáticas muy específicas. Esto permite que exista una gran variedad en las características de la uva y como consecuencia, en la calidad y el estilo de los vinos. Al igual que en el resto del mundo, los viñedos en México, están impactados por condiciones climáticas muy diversas que determinan la composición química y calidad de la uva. Por lo que establecer la asociación de los procesos meteorológicos locales con el desarrollo en la maduración, ayudo a caracterizar tanto al lugar de cultivo como la calidad final de la uva.

La región vinícola de Baja California está caracterizada por dos regiones, norte y sur. La región norte, representada por VG y SAM, el suelo está caracterizado como franco arenoso y contienen un mayor porcentaje de arenas. En contraste, en la región sur comprendida por SV y ST, predomina el suelo franco y franco arcilloso con características que se consideren muy favorables para el cultivo de la vid. Aún más importante para la región de Baja California, la temperatura es un factor crítico en la maduración y la composición química de las uvas. El índice GDD clasificó a SAM y SV como región templada a cálida, establecidas como las más apropiadas para el cultivo de la vid. Sin embargo, las localidades de VG y ST están catalogadas como zonas cálidas a muy cálidas, por lo que serían menos para el cultivo de la vid. También quedo establecido que la cercanía de las áreas de cultivo con el océano, está controlando de manera significativa las características del clima local

promoviendo regiones más templadas. No obstante, se demostró que otras variables meteorológicas, como la irradiación en los valles vitivinícolas de Baja California es suficientes para saturar la fotosíntesis y asegurar una maduración adecuada de la fruta. Mientras que la velocidad y dirección del viento que impacta de forma directa a los cultivos de vid, está controlada por la topografía circundante. Con el primer estudio que se realiza sobre la evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California, se comprobó una variación estacional con valores máximos en verano y mínimos en invierno. Los resultados sugieren un mayor requerimiento hídrico para la viticultura en VG y ST, con relación a los valles vitivinícolas más costeros (SAM y SV).

Como ya se determinó, la composición química de la uva, depende de las características del medio ambiente, principalmente del clima y de la variedad de la uva. La tasa de incorporación de SST fue más rápida en localidades menos cálidas (SAM y SV), mientras que en las localidades más cálidas (ST y VG) fue más lenta. Sin embargo, la concentración de AT no presentó diferencias significativas entre las localidades de SAM y SV con clima templado, y VG y ST con cálido. Se comprobó que la concentración de YAN en todas las variedades, presentó una fuerte dispersión asociada al manejo del viñedo, las características del portainjerto y los regímenes de fertilización. Por lo que fue la menormente influenciada por el clima de la región. La determinación de polifenoles y la medida del color en la semilla de la uva, permitió definir el grado de madurez más óptimo, con la intención de buscar el mejor balance en las características de la uva.

En conjunto, todos estos estudios son el primer reporte multifuncional que permite establecer las condiciones climáticas de las regiones de cultivo y fisicoquímicas de la vid en Baja California con la finalidad de encontrar el mejor balance en las características de la uva.