

EFECTO DEL MESOCLIMA EN LA MADURACIÓN DE UVA NEBBIOLO (*Vitis vinifera*) EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

THE EFFECT OF MESOCLIMATE ON THE RIPENING OF NEBBIOLO GRAPES (*Vitis vinifera*) IN VALLE DE VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Alejandro Cabello-Pasini*, Víctor Macias-Carranza, Adán Mejía-Trejo

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana #3917, Ensenada, Baja California 22860, México (acabello@uabc.edu.mx)

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. 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 variedad Nebbiolo. Debido a la distancia con respecto a la costa, se esperaban encontrar diferencias climáticas en el valle 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 más cercana al mar, San Antonio de la Minas (SAM), Baja California, México. 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. Al 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. Al 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.

ABSTRACT

The physiology of vines (*Vitis vinifera*) is regulated by the mesoscale and large-scale climatic conditions. Valle de Guadalupe is a winegrowing basin where most of Mexico's wine production takes place and presents climatic variations in mesoscale that could influence the grape ripening. The objective of this study was to evaluate the effect of climatic differences on the ripening of the Nebbiolo grape variety, in two winegrowing areas of Valle de Guadalupe. Due to the distance from the coast, finding climatic differences in the valley and in the grape ripening in the study areas was to be expected. Over the course of four seasons, soluble solids concentration, titratable acidity, and pH were evaluated in grapes from the central zone of Valle de Guadalupe and the area nearest to the sea, San Antonio de la Minas (SAM), Baja California, Mexico. In addition, temperature, relative humidity, irradiance, rainfall, wind speed, and wind direction were evaluated from 2012 to 2015. The soluble solids concentration and pH were significantly higher in the Guadalupe grapes' must than in SAM grapes during the four seasons. On the contrary, the concentration of organic acids always was lower in the must of Guadalupe grapes than in the SAM's. The irradiance was similar in both areas, but the daily average temperature and the number of days with extreme temperatures were higher in Guadalupe. On the contrary, relative humidity and precipitation were higher in SAM. The early ripening of Guadalupe's Nebbiolo grapes seems to be the result of higher average temperatures, frequent warm periods, and lower relative humidity in Guadalupe compared with SAM.

Key words: mesoclimate, temperature, Nebbiolo, Valle de Guadalupe, viticulture, *Vitis vinifera*.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2016. Aprobado: noviembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 617-633. 2017.

Palabras clave: mesoclima, temperatura, *Nebbiolo*, Valle de Guadalupe, viticultura, *Vitis vinifera*.

INTRODUCCIÓN

La identificación y caracterización de ambientes diversos en escalas diferentes es de importancia crítica para la industria vitivinícola en México y el mundo. El clima de las regiones vitivinícolas, en especial la temperatura, tiene una función fundamental en la fisiología de la vid y la calidad del vino (Winkler *et al.*, 1974). Diferencias de 1 a 3 °C en la temperatura ambiental promedio en los viñedos de uva Pinot noir y Riesling en New South Wales, Australia, produjeron diferencias en las tasas fotosintéticas y el crecimiento de las vides (Hendrickson *et al.*, 2004). Las vides expuestas a temperaturas mayores en este estudio mostraron tasas de incorporación de C y crecimientos hasta 10 % y 40 % mayores que las vides expuestas a temperaturas menores. Estas diferencias de incorporación de C repercutieron en la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos de las uvas, y la vez modificaron la calidad de los vinos producidos con esas uvas.

Además de los cambios climáticos estacionales, el clima en una escala geográfica intermedia o mesoclima, también tiene un efecto en la fisiología de plantas nativas y cultivos agrícolas (Holden y Brereton, 2004). El mesoclima o clima regional (<50 km) es el clima que domina una zona o distrito de cultivo, un valle agrícola o un bosque, y es influenciado por las colinas, el uso de suelo, los cuerpos de agua, el movimiento del aire, la cubierta vegetal y nubosidad. Estas diferencias climáticas en escalas locales pueden causar discrepancias considerables en la fenología de los cultivos en algunas regiones vitivinícolas. En Francia, el noroeste de Burdeos recibe menos precipitación pluvial que la región sureste, esto genera diferencias amplias en el número de heladas en el año (Lecocq y Visser, 2006; Bois *et al.*, 2008). Las diferencias climáticas en Burdeos son responsables, en gran medida, de la gran variabilidad de tipos y calidades de vinos de la región (Lecocq y Visser, 2006).

El valle de Guadalupe en Baja California, México, tiene más de 20 km de longitud. No existen estudios que evalúen si las diferencias climatológicas regionales tienen un efecto en la maduración de las uvas que ahí se cultivan. El Valle de Guadalupe es el valle vitivinícola principal de Baja California y México, y se cultivan unas 1800 ha de uva para la producción

INTRODUCTION

The identification and description of diverse environments in different scales is fundamental for the wine making industry in Mexico and the world. The climate of winegrowing regions (especially temperature) plays a fundamental role in the physiology of vine and wine quality (Winkler *et al.*, 1974). Differences of 1 to 3 °C in the environmental average temperature in the Pinot noir and Riesling grape vineyards in New South Wales, Australia, resulted in photosynthetic rates and vines growth differences (Hendrickson *et al.*, 2004). In this study, vines exposed to higher temperatures showed C incorporation rates and growths up to 10-40 % higher than vines exposed to lower temperatures. These differences in C incorporation affected the concentration of soluble solids and organic acids in the grapes, and, at the same time, they modified the quality of the wines produced with those grapes.

In addition to seasonal climatic changes, the weather—in an intermediate or mesoclimate geographic scale—also affects the physiology of native plants and agricultural crops (Holden and Brereton, 2004). The mesoclimate or regional weather (<50 km) is the climate that dominates a growing area or district, an agricultural valley or a forest, and it is influenced by hills, land use, bodies of water, air movement, vegetation cover, and cloudiness. These local climatic differences may cause considerable discrepancies in crop phenology in some winegrowing regions. In France, northwestern Bordeaux receives less rainfall than its southeastern region, which generates wide differences in the number of frosts in the year (Lecocq and Visser, 2006; Bois *et al.*, 2008). The climatic differences in Bordeaux are largely responsible for the great variability of wine types and qualities in the region (Lecocq and Visser, 2006).

Valle de Guadalupe in Baja California, Mexico, is more than 20 km long. No studies have evaluated whether regional climatic differences have or have not an effect on the ripening of the grapes grown there. Valle de Guadalupe is the main winegrowing valley of Baja California and Mexico, where approximately 1800 ha of grapes are grown for wine production. There, like in other winegrowing valleys of Baja California, numerous grape varieties can be found. In 2011, more than 50 wine grape varieties and more than 200 grape producers were registered in the winegrowing valleys of Baja California (Sepulveda-

de vino. En este, como en los demás valles vitivinícolas de Baja California, hay numerosas variedades de uvas. En 2011 estaban registradas más de 50 variedades de uva para vino y más de 200 productores de uva en los valles vitivinícolas de Baja California (Sepulveda-Betancourt, 2009; Secretaría de Fomento Agropecuario, 2011). Todas las variedades están expuestas a la variabilidad climática dentro y entre en los valles vitivinícolas. Aunque el valle de Guadalupe es la principal zona vitivinícola de México, no existe registro del efecto del clima en la maduración de las uvas en esta zona y poco del clima del Valle de Guadalupe.

El Valle de Guadalupe está de 10 a 30 km de la costa del océano Pacífico, por lo que algunas de sus regiones están expuestas a neblinas y brisas marinas, que generan temperaturas relativamente templadas durante el año. Las brisas marinas que alcanzan viñedos cercanos a la costa tienen efecto significativo en la fisiología de la vid y la maduración de las uvas (Nemani *et al.*, 2001; Bonnardot *et al.*, 2002). En Napa y Sonoma, California, EUA disminuyó el número de heladas durante la primavera por el cambio de los patrones de circulación de las brisas. Lo anterior resultó 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 causó una reducción aproximada de 20 días en la época de brotación, aumento del rendimiento de los viñedos y la calidad de los vinos de la zona (Nemani *et al.*, 2001).

La variedad de uva Nebbiolo para la producción de vino es originaria del norte de Italia (Giovannelli and Brenna, 2006). Esta variedad se planta en todos los valles de Baja California y es apreciada por los vitivinicultores por la alta calidad del vino que origina. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la variabilidad climática el Valle de Guadalupe, Baja California, en la maduración de la uva Nebbiolo. La hipótesis fue que debido a la variación climática del valle de Guadalupe existen diferencias en la maduración de la uva Nebbiolo cultivada en la zona interna y la zona más costera del valle.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El valle de Guadalupe (32°03'N, 116°37'O) es una cuenca, aproximadamente a 30 km al noreste de la ciudad de Ensenada,

Betancourt, 2009; Secretariat of Agricultural Development, 2011). All varieties are exposed to climatic variability within and between the winegrowing valleys. Although Valle de Guadalupe is Mexico's main winegrowing area, there is no record of the climate effect on the grape ripening in this area, and little about its weather.

Valle de Guadalupe is 10-30 km away from the Pacific Ocean coast, so some of its regions are exposed to fogs and sea breezes, which generates relatively mild temperatures throughout the year. The sea breezes that reach vineyards near the coast have a significant effect on the physiology of the vines and grape ripening (Nemani *et al.*, 2001; Bonnardot *et al.*, 2002). In Napa and Sonoma, California, USA, a decrease in the number of frosts was observed during the spring due to the change in breeze circulation patterns. This was the result of temperature increase in the adjacent sea and atmospheric water steam concentration, due to global climate change. This decrease in frosts in the growing areas caused an approximate reduction of 20 days in the budbreak season, an increase in the vineyard yield and in the wine quality of the area (Nemani *et al.*, 2001).

The Nebbiolo grape variety for wine production is native to the north of Italy (Giovannelli and Brenna, 2006). This variety is planted in all the valleys of Baja California and valued by winemakers, because of the high quality of the wine that they obtain. The objective of this study was to evaluate the effect of climatic variability in Valle de Guadalupe, Baja California, on the ripening of the Nebbiolo grape. The hypothesis was: due to the climatic variation in Valle de Guadalupe, there are differences in the ripening of the Nebbiolo grapes grown in the valley's inner zone and the area closest to the coast.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Valle de Guadalupe (32° 03' N, 116° 37' W) is a basin, located at approximately 30 km northeast of Ensenada, Baja California, Mexico (Figure 1). San Antonio de las Minas (SAM) is located in the western area of the valley, approximately 10 km from the Pacific Ocean coast. The town of Guadalupe (Francisco Zarco) is located in the eastern region of Valle de Guadalupe, approximately 30 km from the coast. Valle de Guadalupe is classified as a semi-arid region, and the highest precipitation levels are recorded in winter (285 mm year⁻¹).

Baja California, México (Figura 1). San Antonio de las Minas (SAM) está en la zona oeste del valle, a unos 10 km de la costa del océano Pacífico. El poblado de Guadalupe (Francisco Zarco) está en la región este del Valle de Guadalupe, aproximadamente a 30 km de la costa. El Valle de Guadalupe, se califica como región semi-desértica, con la precipitación mayor (285 mm año⁻¹) en invierno.

Datos climatológicos

Con estaciones meteorológicas (HOBO U30, EUA), en cada viñedos en estudio se obtuvieron los datos climatológicos (temperatura ambiental, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa y velocidad y dirección del viento cada 15 min) de septiembre del 2012 a diciembre de 2015 en Guadalupe (32°06' 50"N, 116°30' 47"O) y SAM (31°59'05"N, 116°38'38"O). La distancia lineal aproximada entre los viñedos fue 20 km. Los sensores de las estaciones se colocaron a 2.5 m del suelo, con exposición directa a la radiación solar y al viento.

Cultivo de la vid

El estudio incluyó cuatro periodos de producción (2012 a 2015) en viñedos comerciales con uva Nebbiolo. El material

Weather data

From September 2012 to December 2015, weather data (ambient temperature, relative humidity, photosynthetically active radiation, wind speed and wind direction) were recorded every 15 min, in the meteorological stations (HOBO U30, USA) located in each vineyard included in the study, both in Guadalupe (32° 06' 50" N, 116° 30' 47" W) and in SAM (31° 59' 05" N, 116° 38' 38" W). The linear distance among the vineyards was approximately 20 km. Station sensors were placed 2.5 m above the ground, where they were directly exposed to solar radiation and wind.

Cultivation of the vines

The study included four production periods (2012-2015), in commercial vineyards with Nebbiolo grapes. The vegetative material of both varieties came from the same clone and was 5 years old at the beginning of the study. The vines were grown on unilateral cordon and a two-wire trellis system. The distance between corridors and between vines was 2.7 m and 1.2 m, respectively; the orientation was east-west and pruning was

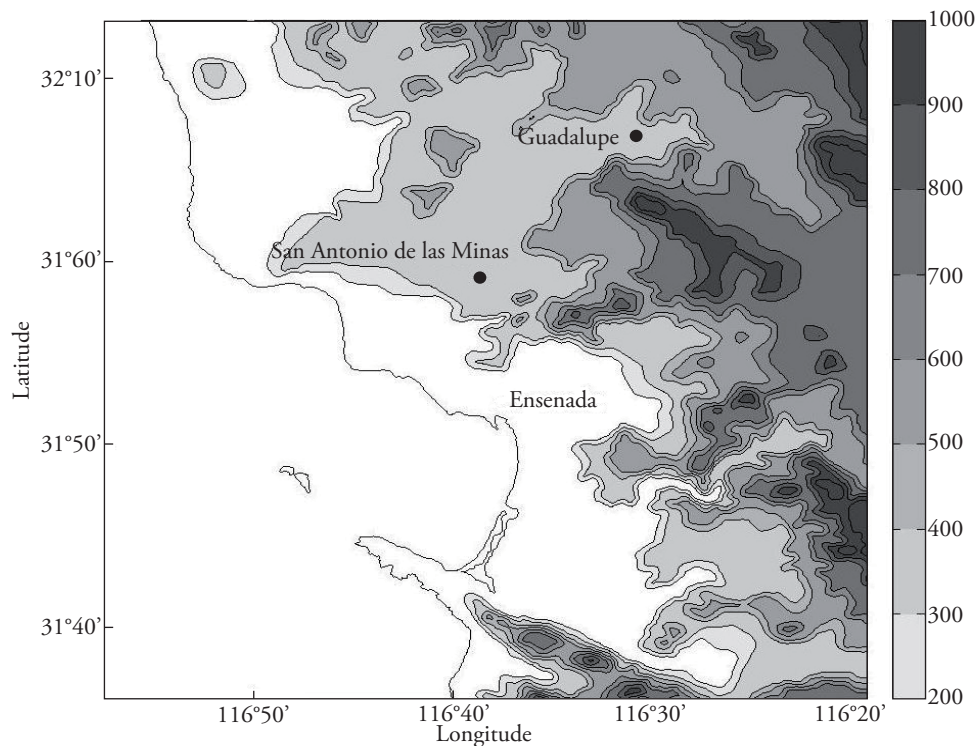


Figura 1. Localización de los viñedos y estaciones meteorológicas en Guadalupe y San Antonio de las Minas, en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Curvas de nivel indican la altura topográfica en metros.

Figure 1. Location of vineyards and weather stations in Guadalupe and San Antonio de las Minas, in Valle de Guadalupe, Baja California, Mexico. Level curves indicate the topographic height in meters.

vegetativo de ambas variedades provino del mismo clon y tenía 5 años de edad al inicio del estudio. Las vides se cultivaron en cordones de un brazo y sistema de espaldera de dos líneas. La distancia entre pasillos fue 2.7 m y entre vides 1.2 m; la orientación de éstas fue este-oeste y la poda se mantuvo a 30 yemas por vid. El suelo en ambas zonas de estudio se caracteriza por ser franco arenoso de origen Aluvial. El riego (20 L) se suministró semanalmente por goteo. El contenido de sólidos solubles en el agua de riego fue menor a 600 mg L⁻¹, en el periodo de riego y en ambas zonas de cultivo.

Análisis químicos y estadísticos

Las variables de madurez de las uvas se determinaron semanalmente a partir de la fecha de enero. Entre 200 y 300 bayas se recolectaron al azar, semanalmente, en cada zona de estudio y se transportaron en una hielera, con hielo gel, al laboratorio para los análisis. Las uvas se recolectaron en ambas zonas de los pasillos, interna y externa del dosel, y superior e inferior de los racimos. Las uvas se maceraron por 1 h y se determinó la concentración de sólidos solubles con un refractómetro de mesa Abbe (Fisher Scientific Co.). La acidez titulable se cuantificó con titulación con NaOH 0.1 N y el pH del mosto se determinó con un potenciómetro (ThermoOrion 410) (Zoecklein *et al.*, 1995).

Las diferencias estadísticas de los datos climatológicos y de las uvas se determinaron con ANDEVA de una vía, después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos (Sokal and 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 y sustancias aromáticas, y 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 influyen la tipicidad y calidad de los vinos. Variaciones anuales y en mesoescala del clima modifican las características organolépticas y la calidad de los vinos entre los años de producción en cada región. Esto ayudaría a explicar las diferencias en la maduración entre vides en zonas con microclimas diferentes dentro del Valle de Guadalupe observadas en este estudio.

El contenido de sólidos solubles fue significativamente mayor ($p \leq 0.01$) en la uva Nebbiolo de

maintained at 30 buds per vine. Both study areas featured an alluvial sandy loam soil. Drip irrigation (20 L) was supplied weekly. The soluble solids content in the irrigation water was less than 600 mg L⁻¹ in the irrigation period and in both growing zones.

Chemical and statistical analysis

The grape maturity variables were determined weekly from the veraison date. Between 200 and 300 berries were collected randomly, weekly, in each study area, and transported—in a cooler with ice gel—to be analyzed in the laboratory. The grapes were harvested in both areas of the corridors, internal and external canopy, and upper and lower bunches. The grapes were macerated for 1 h and the soluble solids concentration was determined with a Fisher Scientific™ Abbe Bench-top Refractometer. The titratable acidity was quantified by titration with 0.1 N NaOH and the pH of the must was determined using a potentiometer (ThermoOrion 410) (Zoecklein *et al.*, 1995).

Statistical differences of weather and grapes data were determined with one-way ANOVA, after testing the normality and homoscedasticity of the data (Sokal and Rohlf, 1995). All the multiple comparisons of means were carried out using Tukey's multiple comparison test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

The ripening of grapes for wine production is a complex process involving the accumulation of glucose, fructose, organic acids, polyphenols and aromatic substances, and the reduction of some compounds that give unwanted bouquets to wines. The synthesis and catabolism of these compounds in grapes are closely regulated by environmental factors and cultivation practices that influence the typicity and quality of wines. Annual and mesoscale climatic variations modify the organoleptic properties and the quality of the wines from one production year to another in each region. This may explain the different ripening between vines in areas with different microclimates within Valle de Guadalupe that we observed in this study.

The soluble solids content in the four samples was significantly higher ($p < 0.01$) in the Guadalupe Nebbiolo grapes compared with SAM's (Figure 2). At the beginning and at the end of the ripening, the soluble solids concentration was higher ($p \leq 0.05$), from 3 to 5 and more than 20 °Bx, in the Guadalupe grapes compared with SAM's. The highest values of Guadalupe grapes were reached one to three weeks

Guadalupe respecto a SAM en los cuatro muestreos (Figura 2). Al inicio y al final de la maduración la concentración de sólidos solubles fue mayor ($p \leq 0.05$), de 3 a 5 y más de 20 °Bx, en la uva de Guadalupe respecto a la de SAM. Los valores mayores de las uvas de Guadalupe se alcanzaron una a tres semanas antes ($p \leq 0.05$) que en SAM. La acidez titulable al inicio de la maduración en los cuatro muestreos fue 50 % menor ($p \leq 0.05$) en las uvas de Guadalupe que en las de SAM y se mantuvo así durante la madura. El pH del mosto de las uvas de Guadalupe fue mayor ($p \leq 0.05$) que el de las uvas de SAM. Las tasas mayores de incorporación de sólidos solubles y el catabolismo más acelerado de ácidos orgánicos en las uvas de Guadalupe, respecto a las de SAM, coincide con las diferencias en las tasas de maduración observadas en numerosos valles vitivinícolas del mundo. Estas diferencias en maduración están ligadas a diferencias climáticas de mesoescala o gran escala. Es el caso de las uvas Carignane, Petite sirah y Zinfandel en las que la incorporación de sólidos solubles es más acelerada en zonas cálidas que en zonas frías de California, EUA (Amerine y Winkler, 1944; Winkler *et al.*, 1974). La concentración de sólidos solubles en estas uvas fue 2 a 5 °Bx más que en las de zonas frías de California y la concentración de los ácidos orgánicos fue dos veces mayor en las de las zonas frías (Amerine y Winkler, 1944). Además, en zonas cálidas, o en años con temperaturas máximas más elevadas durante el periodo de maduración, la concentración de sólidos solubles aumenta rápidamente y la cosecha de uvas *Sangiovese*, *Sauvignon blanc* y *Nebbiolo* se acelera (Conradie *et al.*, 2002, Guidoni *et al.* 2008, Filippetti *et al.* 2015). Desde el punto de vista comercial, la concentración de sólidos solubles y ácidos orgánicos son indicadores de la madurez de las uvas y se utilizan para identificar la fecha de cosecha e iniciar la vinificación. Por lo anterior, la diferencia en las tasas de maduración de estas uvas favorece la cosecha hasta dos meses más temprana en las zonas cálidas de California que en las zonas frías. Esta diferencia en el tiempo de cosecha se observó en nuestro estudio, que en Guadalupe fue hasta 27 días antes que en SAM.

En la irradiación recibida por las vides en ambos sitios de estudio no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Figura 3). Las irradiaciones diarias mayores ($65 \text{ mol cuanta m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se detectaron en julio y las menores ($3\text{-}6 \text{ mol cuanta m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) entre noviembre y marzo en ambos años. Aunque la

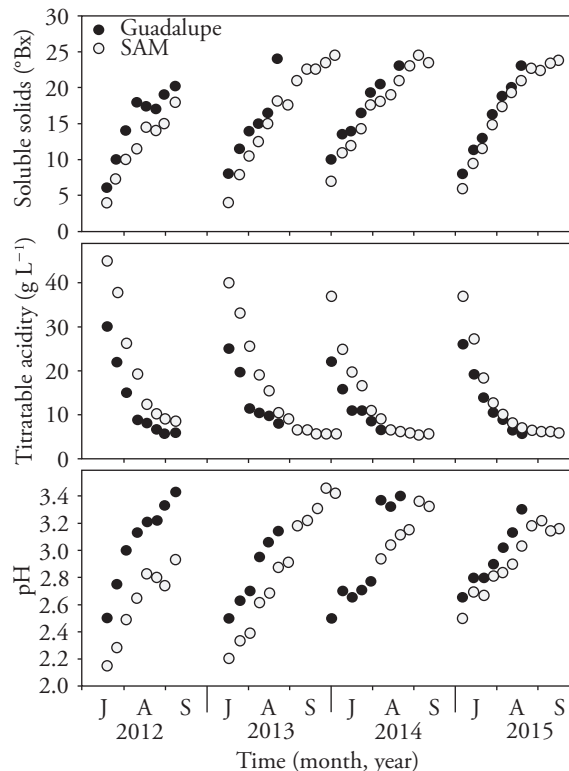


Figura 2. Concentración de sólidos solubles, acidez titulable y pH de uvas *Nebbiolo* durante la maduración en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

Figure 2. Soluble solids concentration, titratable acidity, and pH of *Nebbiolo* grapes during ripening, in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

earlier ($p \leq 0.05$) than in SAM's. The titratable acidity of the four samples was 50 % lower ($p \leq 0.05$) at the beginning of the ripening in the Guadalupe grapes than in SAM's and remained like that during the ripening. The pH of the Guadalupe grape must was significantly higher ($p \leq 0.05$) than SAM's. The higher rates of soluble solids incorporation and the faster catabolism of organic acids in Guadalupe grapes, compared with SAM's, matches the differences in ripening rates observed in many winegrowing valleys in the world. These differences in ripening are generally linked to mesoscale or large-scale climatic differences. This is the case of Carignan, Petite sirah, and Zinfandel grapes in which the incorporation of soluble solids is more accelerated in the warm areas than in the cold areas of California, USA (Amerine and Winkler, 1944; Winkler *et al.*, 1974). The soluble

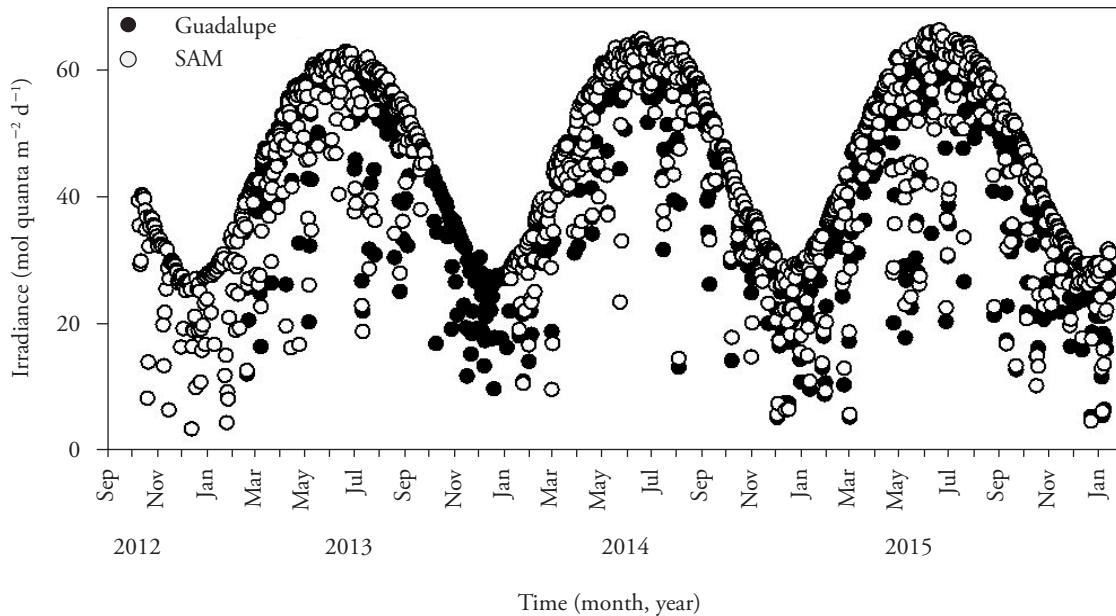


Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (mol cuanta $m^{-2} d^{-1}$) en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

Figure 3. Photosynthetically active radiation (mol cuanta $m^{-2} d^{-1}$) in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

irradiación máxima diaria fue similar en ambos sitios, el número de días con irradiancias bajas, debido a neblina costera o nubes fue mayor ($p \leq 0.05$) en SAM. La zona vitivinícola de SAM se localiza a 10 km de la costa y recibe el influjo de neblinas recurrentes costeras; en contraste, la zona más occidental del valle de Guadalupe, a 30 km de la costa, no se afecta por las neblinas con la misma frecuencia. La reducción de la irradiancia en SAM es consistente con la reducción de la irradiancia en la zona costera del sur de California debido al efecto de las neblinas (Tont, 1975; Fischer *et al.*, 2009). Esto demostró que existe reducción lineal de la irradiancia desde la costa hacia tierra adentro como consecuencia las neblinas en la zona costera. La frecuencia de neblinas en el sur de California, EUA, 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 esas zonas, incluyendo la vitivinicultura (Nemani *et al.*, 2001).

Los patrones de temperatura promedio diaria fueron similares en ambos sitios ($p > 0.05$); pero, el número de días con temperaturas promedio mayores a 25 °C fue 131 en Guadalupe y solo 67 en

solids concentration in these grapes was 2 to 5 °Bx higher than in the cold areas of California and the organic acids concentration was double than those of cold areas (Amerine and Winkler, 1944). In addition, in warm areas—or in years with higher maximum temperatures during the ripening period—the soluble solids concentration increases rapidly and the Sangiovese, Sauvignon blanc, and Nebbiolo grapes harvest is accelerated (Conradie *et al.*, 2002, Guidoni *et al.*, 2008, Filippetti *et al.*, 2015). From the commercial point of view, the concentration of soluble solids and organic acids that the grapes have reached maturity and is used to identify the date of harvest and start the fermentation. As a result of the difference in the ripening rates of these grapes harvest takes place up to two months earlier in the warm areas of California than in the cold ones. This difference in the harvest time was also observed in this study, which in Guadalupe takes place earlier (up to 27 days) than in SAM.

In both study sites, no significant differences were observed in the irradiance received by the vines ($p > 0.05$) (Figure 3). In both years, the highest daily irradiances (65 mol quanta $m^{-2} d^{-1}$) were recorded in July, and the lowest (3–6 mol quanta $m^{-2} d^{-1}$) between November and March. Although the maximum daily

SAM ($p \leq 0.05$, Figura 4). La temperatura promedio de crecimiento es uno de los factores que regulan la madurez de las uvas. En la uva tempranillo en Navarra, España, se observó maduración más acelerada de las uvas en vides cultivadas a 28 °C respecto a 24 °C (Salazar Parra *et al.*, 2010). La concentración de sólidos solubles alcanzó 24 °Bx en tiempos significativamente menores cuando las vides crecieron a 28 °C respecto a las que crecieron a 24 °C. La acidez titulable menor y los valores mayores de pH de la uva Nebbiolo de Guadalupe, con relación a las uvas de SAM, fueron también resultado de las temperaturas mayores en la zona interna del valle. Las temperaturas mayores reducen los niveles de acidez titulable y en consecuencia aumentan el pH del mosto (Winkler *et al.*, 1974, Tarara *et al.*, 2008). Los ácidos tartárico y málico constituyen aproximadamente 90 % de los ácidos orgánicos de las uvas. La concentración del ácido tartárico es relativamente estable a lo largo de la maduración de las uvas, pero el málico se cataboliza activamente y se consume en la respiración, a través del ciclo de Krebs. El catabolismo del ácido málico aumenta en uvas que se desarrollan en climas más cálidos por lo que su concentración disminuye en las uvas (Winkler *et al.* 1974, Lakso y Kliewer, 1975). Además,

irradiance was similar in both sites, the number of days with low irradiance due to coastal fog or clouds was higher ($p \leq 0.05$) in SAM. The winegrowing area of SAM is located 10 km from the coast and receives the influence of recurrent coastal fog. In contrast, the westernmost part of Valle de Guadalupe is located 30 km from the coast and is not as frequently affected by the fog. The reduction of irradiance in SAM is consistent with the reduction of irradiance in the coastal zone of southern California due to the fog effect (Tont, 1975; Fischer *et al.*, 2009). This proved that there is a linear reduction of the irradiance from the coast to the inland, as a consequence of the fog in the coastal zone. The frequency of fog in southern California, and probably northern Baja California, has decreased significantly over the past 60 years, as a result of changes in circulation patterns (Laochy and Witiw, 2011). These changes in fog patterns have affected coastal ecology and agriculture in these areas, including winemaking (Nemani *et al.*, 2001).

The daily average temperature patterns were similar in both sites ($p > 0.05$), but the number of days with average temperatures higher than 25 °C was 131 in Guadalupe and only 67 in SAM ($p \leq 0.05$, Figure 4). The average growth temperature is one of the

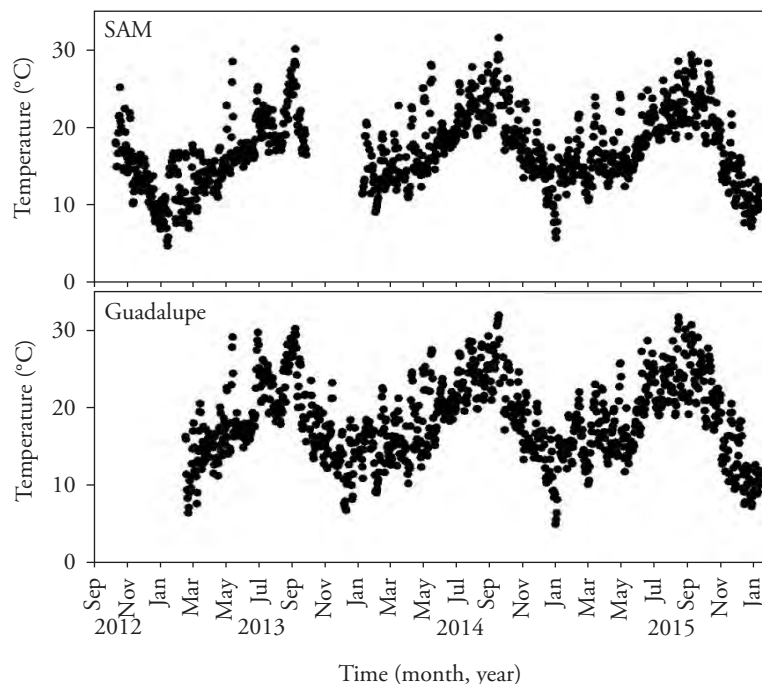


Figura 4. Temperatura promedio diaria del aire en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.
Figure 4. Daily air average temperature in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

la temperatura de crecimiento de las uvas tiene efecto en su maduración (sólidos solubles, acidez titulable, pH) y en la acumulación de moléculas que regulan la calidad de los vinos producidos con ellas. La concentración de metoxipirazinas, por ejemplo, aumenta 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 pimienta morrón, heno y otros aromas “verdes” en vinos producidos con ellas (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. Además, las diferencias de mesoclima entre ambas zonas pueden tener efecto en la acumulación de sólidos solubles y ácidos orgánicos, y también en la concentración final de moléculas como la metoxipirazina, que modifica la calidad del vino.

Los valores de temperatura máxima fueron ligeramente mayores en Guadalupe que las temperaturas máximas en SAM (Figura 5). El número de días con temperaturas mayores a 35 °C fue tres veces mayor en Guadalupe (118 d) que en SAM (37 d) ($p \leq 0.05$). Además, durante este periodo de estudio no se presentaron temperaturas mayores a 40 °C en SAM, mientras que en Guadalupe se presentaron 10 días ($p \leq 0.05$). Así, las uvas de Guadalupe estuvieron expuestas a temperaturas extremas con más frecuencias que las de SAM. Al contrario, la temperatura mínima fue relativamente similar en ambos valles vitivinícolas, 83 días hubo menos de 5 °C en Guadalupe y 76 días en SAM. La producción de vino de buena calidad está limitada a regiones climáticas que 1) mantienen acumulación térmica adecuada para expresar la tipicidad de la variedad de uva, 2) presentan riesgo bajo de daño a las vides por heladas y 3) ausencia de temperaturas extremas (White *et al.*, 2006). Los resultados de nuestro estudio indican que las uvas de Guadalupe están expuestas a temperaturas extremas con más frecuencia, y por lo tanto a deshidratación mayor que las uvas de SAM. Las temperaturas mayores y el número mayor de días con temperaturas superiores a los 35 °C en Guadalupe causaron aumento de la concentración de sólidos solubles y disminución de la acidez titulable en el mosto, como

factors that regulates the grapes' maturity. In Navarre, Spain, the ripening of *tempranillo* grapes was more accelerated in vines grown at 28 °C than those grown at 24 °C (Salazar Parra *et al.*, 2010). The soluble solids concentration reached 24 °Bx significantly sooner when the vines grew at 28 °C compared with those that grew at 24 °C. The lower titratable acidity and higher pH values of Guadalupe's Nebbiolo grape — with regard to SAM grapes— were also a result of higher temperatures in the valley's inner zone. Higher temperatures reduce titratable acidity levels and consequently increase the pH of the must (Winkler *et al.*, 1974, Tarara *et al.*, 2008). Tartaric and malic acids make up about 90 % of the grapes' organic acids. The concentration of tartaric acid is relatively stable throughout grape ripening, but the malic acid is actively catabolized and consumed in respiration, throughout the Krebs cycle. The malic acid catabolism increases in grapes developed in warmer climates; therefore, their concentration decreases (Winkler *et al.*, 1974, Lakso and Kliewer, 1975). In addition, the grape growth temperature affects its ripening (soluble solids, titratable acidity, pH) and the accumulation of molecules that regulate the quality of the wines produced with them. For example, the concentration of methoxypyrazines increases in Cabernet sauvignon and Carmenere grapes when growth temperatures are low (Belancic and Agosin, 2007; Falcão *et al.*, 2007). The accumulation of methoxypyrazines in grapes growing in cold areas gives red pepper, hay, and other “green” bouquets to the wines produced with them (Falcão *et al.*, 2007). These bouquets —associated with methoxypyrazines— are considered negative and reduce the wine's quality perception. This suggests that the differences in average temperatures in SAM and Guadalupe affect the ripening rates of the Nebbiolo grape and probably other grapes. In addition, the mesoclimate differences between the two zones likely influenced the accumulation of soluble solids and organic acids, and also on the final concentration of molecules, such as methoxypyrazine, which modify the quality of wine.

The maximum temperature values were slightly higher in Guadalupe than in SAM (Figure 5). The number of days with temperatures higher than 35 °C was three times greater in Guadalupe (118 d) than in SAM (37 d) ($p < 0.05$). In addition, during this study period, no temperatures higher than 40 °C were recorded in SAM, while there were 10 days with such

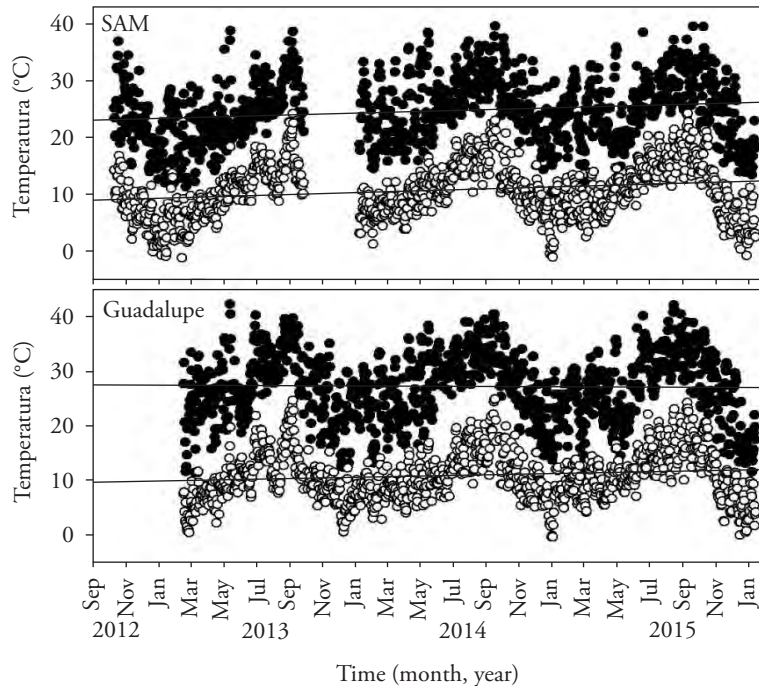


Figura 5. Temperatura máxima (círculos negros) y mínima (círculos blancos) diaria en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.
Figure 5. Daily maximum (black circles) and minimum (white circles) temperatures in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

resultado de la deshidratación mayor, y aumento del catabolismo del ácido málico. También, se observó aumento de temperaturas máximas durante el estudio, principalmente en SAM. Es probable que este aumento en la serie de tiempo esté influenciado por las temperaturas extremas en el mundo durante 2014 y 2015, e incluyendo el norte de Baja California. Este aumento 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 (Figura 6). Una diferencia diaria de temperatura, entre 3 y 26 °C, se observó durante el año en ambos valles sin un patrón estacional reconocible. La diferencia en la amplitud del intervalo de fluctuaciones máximas y mínimas en la temperatura fue constante durante el periodo de estudio en SAM. Al contrario, en Guadalupe se observó disminución, de aproximadamente 2 °C, en la amplitud entre la temperatura máxima y mínima diaria. La diferencia menor de las temperaturas entre

temperatures ($p < 0.05$) in Guadalupe. Therefore, Guadalupe grapes were more frequently exposed to extreme temperatures than SAM's. On the contrary, the minimum temperature was relatively similar in both winegrowing valleys: 83 days and 76 days with temperatures under 5 °C, in Guadalupe and SAM, respectively. The production of high quality wine is limited to climate regions which: 1) maintain a thermal accumulation that suitably expresses the character of the grape variety; 2) present low risk of frost damage to vines; and, 3) are not subject to extreme temperatures (White *et al.*, 2006). The results of our study indicate that Guadalupe grapes are more frequently exposed to extreme temperatures—and, therefore, to a greater dehydration—than SAM's. The higher temperatures and the greater number of days with temperatures above 35 °C in Guadalupe increased the soluble solids concentration, decreased the titratable acidity in the must—as a result of the greater dehydration—and increased the malic acid catabolism. Likewise, an increase of maximum temperatures was observed during the period of study, mainly in SAM. It is likely that this increase

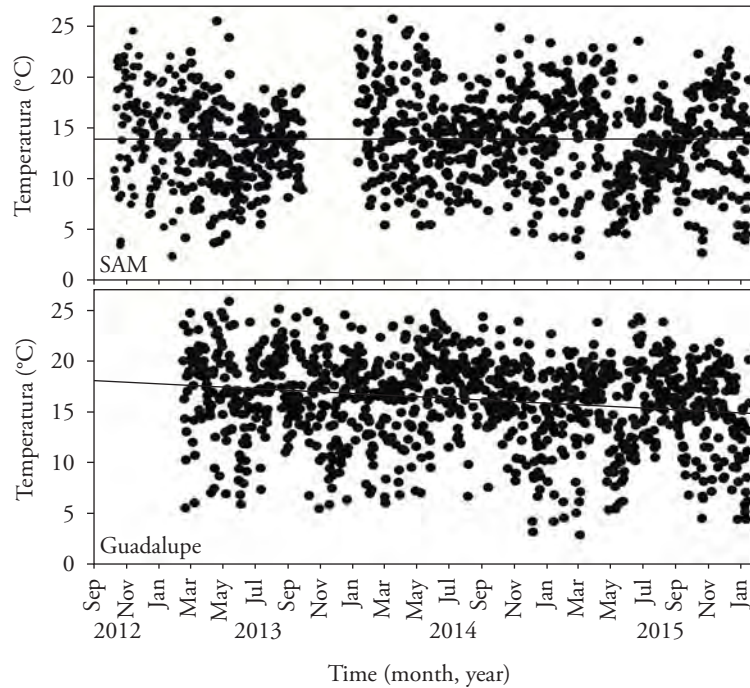


Figura 6. Amplitud del intervalo de temperaturas diarias en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.
Figure 6. Daily temperature amplitude range in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

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 principalmente por la etapa de maduración, tipo de suelo, luz, método de cultivo y temperatura ambiental, y hay otros factores. El incremento de la temperatura de crecimiento de la uva *Merlot* redujo la concentración de pigmentos en las pieles de las uvas y la concentración de polifenoles totales (Spayd *et al.*, 2002). Además, la exposición de las uvas a temperaturas extremas durante la maduración, aunque sean periodos cortos, modifica el perfil polifenólico y antocianico (Tarara *et al.*, 2008). Por lo anterior, las diferencias en las temperaturas extremas entre Guadalupe y SAM podrían influir en la concentración de sólidos solubles y acidez titulable en las uvas, provocar diferencias en la composición polifenólica y aromática de las uvas de ambos valles.

La humedad relativa fue mayor ($p \leq 0.01$) en SAM que en Guadalupe durante el estudio (Figura 7). La humedad relativa promedio en SAM fue aproximadamente 70 % y menos de 60 % en Guadalupe. Además, el número de días con humedades relativas mayores de 80 % fue más de tres en SAM

in the time series was influenced by the extreme temperatures experienced globally during 2014 and 2015, including northern Baja California. This increase in temperature is probably linked to large-scale climate changes and extended periods (Kilmister *et al.*, 2016; Mann *et al.*, 2016).

The difference between the maximum and minimum daily temperatures (amplitude) was relatively similar in both winegrowing valleys (Figure 6). A daily temperature difference between 3 and 26 °C was observed throughout the year in both valleys, without a recognizable seasonal pattern. The difference in the amplitude of the range of maximum and minimum temperature fluctuations remained constant during the study period in SAM. In contrast, there was a decrease of approximately 2 °C in Guadalupe, in the amplitude between the maximum and minimum daily temperatures. The lower temperature difference between day and night is consistent with the decrease of diurnal amplitude in southern California, as a result of to global climate change over the past 100 years (Steve *et al.*, 2007). The concentration of some grape metabolites is mainly regulated by the ripening stage, soil type, light, cultivation method, ambient temperature, and other

que en Guadalupe. Las humedades relativas mayores en SAM, respecto a Guadalupe, coinciden con las humedades mayores en toda la zona costera de California, en relación con la zona central del estado. Los niveles altos de humedad relativa en zonas cercanas a la costa es resultado de la evaporación del agua de mar y las brisas marinas hacia la costa. La humedad relativa tiene una función crítica en la transpiración foliar y de los frutos en especies numerosas, incluyendo las vides. La conductancia estomatal y la fotosíntesis aumentan con la humedad relativa (Mooney *et al.*, 1983). Al contrario, la disminución de la humedad relativa aumenta las tasas de transpiración de las uvas, por lo que la concentración de sólidos solubles del mosto con la deshidratación (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 el resultado parcial de humedades relativas menores a lo largo del año.

Las lluvias durante el invierno contribuyeron con la mayor parte de la precipitación anual en el Valle de Guadalupe ($p \leq 0.05$, Figura 8). Además se observó variabilidad en la precipitación entre los años de estudio; las menores se registraron en ambas zonas durante el invierno de 2013-2014. Debido a que no

factors. The increase in the growth temperature of the Merlot grape reduced the pigments concentration in the grape's skin and the concentration of total polyphenols (Spayd *et al.*, 2002). In addition, exposing grapes to extreme temperatures during ripening—even for short periods—modifies their polyphenolic and anthocyanic profile (Tarara *et al.*, 2008). Therefore, the differences in the extreme temperatures between Guadalupe and SAM could influence the soluble solids concentration and titratable acidity in the grapes, resulting in differences in the polyphenolic composition and the bouquet of grapes from both valleys.

During the study, the relative humidity was higher ($p \leq 0.01$) in SAM than in Guadalupe (Figure 7). The average relative humidity was approximately 70 % and less than 60 % in SAM and in Guadalupe, respectively. In addition, there were three more days in which relative humidity was higher than 80 % in SAM than in Guadalupe. Relatively higher humidity values in SAM, with regard to Guadalupe, match higher humidity values throughout the coastal zone of California, in relation with the central area of the state. The high levels of relative humidity near to the coast is the result of the sea water evaporation and the sea breezes towards the coast. Relative humidity

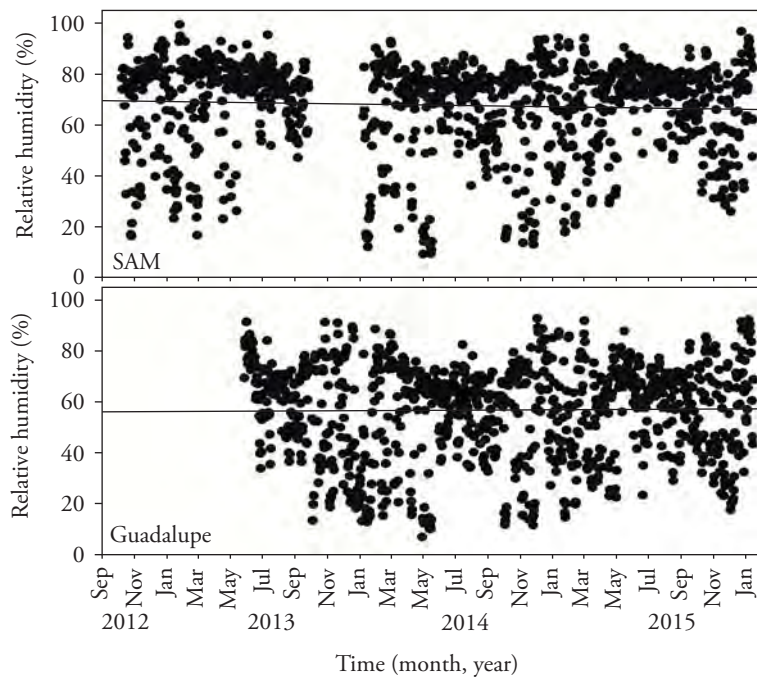


Figura 7. Humedad relativa promedio diaria en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.
Figure 7. Daily average relative humidity in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

hay ríos o arroyos con flujo perenne en la zona, la recarga del acuífero del valle de Guadalupe depende totalmente de la precipitación pluvial invernal (Campos-Gaytan *et al.*, 2014). Las lluvias en el sur de California, EUA 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). 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 en 2015 (Schonher y Nicholson, 1989; Cavazos y Rivas, 2004; Varotsos *et al.*, 2016). Como resultado de la variabilidad interanual y porque la mayoría de las lluvias se presentan en invierno, es necesario aplicar riego a las vides para mitigar el incremento de la evapotranspiración y el aumento del estrés hídrico en estos cultivos durante el verano (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008; Acosta-Zamorano *et al.*, 2013a y 2013b).

La regresión de los datos de lluvia en ambas zonas de estudio indicó que la precipitación fue

has a critical role in foliar and fruit transpiration in numerous species, including vines. Stomatal conductance and photosynthesis increase with relative humidity (Mooney *et al.*, 1983). On the contrary, the decrease in relative humidity increases the transpiration rates of grapes, as a consequence of which soluble solids concentration of the must increase with dehydration (Rebucci *et al.*, 1997). Therefore, the increase in the soluble solids accumulation rates (ripening) of the Guadalupe grapes, in relation to SAM's, must be the partial result of lower relative humidity throughout the year.

Winter rainfall was responsible for most of the annual precipitation in Valle de Guadalupe ($p \leq 0.05$, Figure 8). In addition, precipitation variability in was observed from one year to another, during our study: the lower temperatures were recorded in both areas during the winter of 2013-2014. Because there are no perennial streams or rivers in the area, the recharge of Valle de Guadalupe's aquifer depends entirely on winter rainfall (Campos-Gaytan *et al.*, 2014). Rains in southern California, USA, and the

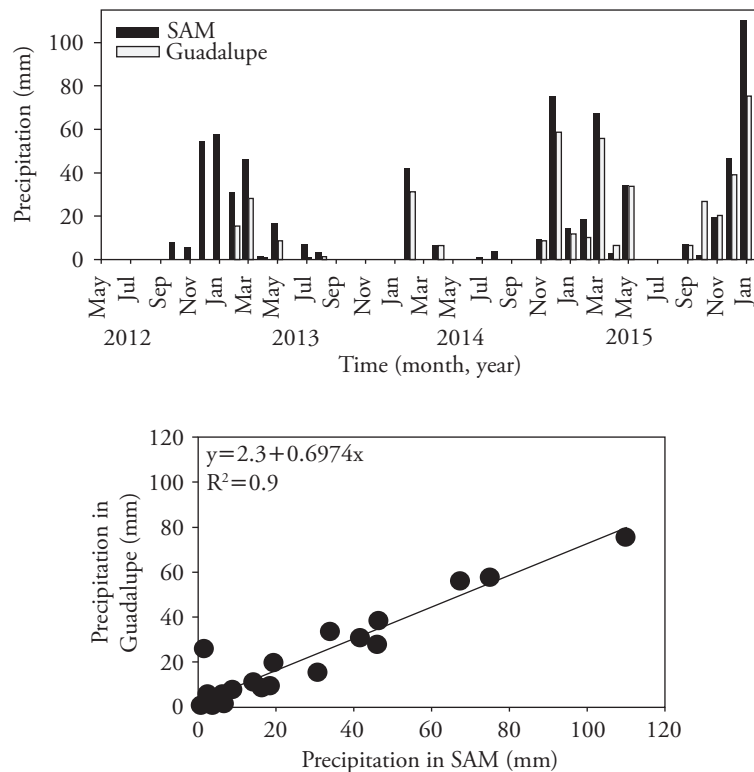


Figura 8. Precipitación pluvial mensual en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México, y correlación de la precipitación pluvial mensual en ambas zonas.

Figure 8. Monthly rainfall in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico, and correlation of monthly rainfall in both areas.

aproximadamente 30 % mayor ($p \leq 0.05$) en SAM que en Guadalupe. Esto es contrario al incremento ligero de la precipitación de la costa hacia tierra adentro, y el aumento en la altura topográfica en el norte de Baja California reportado por Minnich *et al.* (2000). SAM está cerca de la costa e inmediatamente después de un incremento abrupto en la topografía costera (Figura 1). Guadalupe está a la misma altura topográfica que SAM, pero a 20 km tierra adentro. Por lo tanto, es probable que las descargas mayores de agua, por los frentes de lluvia se presenten en SAM. Las precipitaciones mayores en SAM probablemente no impactan inmediatamente en la maduración de las uvas en ambas regiones. El abatimiento de más de 20 m del nivel del manto freático en la zona de Guadalupe, por la extracción de agua en los últimos años y a la sequía que se presenta en la región ha excedido a la recarga (Campos-Gaytan *et al.* 2014, Robeson 2015). Los descensos mayores en los niveles del manto freático se han observado en la zona interna del valle de Guadalupe, y los niveles se han mantenido relativamente constantes en la zona más cercana a la costa. La profundidad menor del nivel freático en los cultivos cercanos a la costa probablemente provee mayor humedad en la zona radicular y provoca tasas lentas de maduración de las uvas. Además, la precipitación mayor en SAM puede generar recarga mayor en la región más costera del valle.

Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se observaron en temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de los vientos dominantes de Guadalupe y SAM durante el periodo de maduración de las uvas (Figura 9). Los vientos dominantes durante el día (10:00 a 14:00 h) en SAM presentaron dirección suroeste con intensidades generalmente menores a 4 m s^{-1} y en Guadalupe los vientos dominantes presentaron dirección suroeste con intensidades mayores ($p \leq 0.05$) a las de SAM. Al contrario, los vientos en la tarde y noche en SAM presentaron dirección norte, en Guadalupe la dirección fue este. Además, la intensidad de los vientos en la tarde-noche fue ligeramente más intensa 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 foliar y los racimos de uva. 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

north of Baja California, Mexico, are a consequence of the weakening of the North Pacific system in winter, which allow convective systems and rain fronts to enter this region (Cavazos and Rivas, 2004). The interannual rainfall variability in northern Baja California is mostly the result of the effect of El Niño events, such as the one observed in 2015 (Schonher and Nicholson 1989, Cavazos and Rivas 2004, Varotsos *et al.*, 2016). As a result of interannual variability—and because most rainfall occurs in winter—, irrigating the vines is necessary to mitigate the increase of evapotranspiration and water stress in these crops during the summer (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2008, Acosta-Zamorano *et al.*, 2013a and 2013b).

Regression analysis of rainfall data in both study areas indicated that precipitation was approximately 30 % greater ($p \leq 0.05$) in SAM than in Guadalupe. This contrasts with the slight precipitation increase from the coast towards the inland, and the increase of topographic height in northern Baja California reported by Minnich *et al.* (2000). SAM is near the coast, immediately after an abrupt increase in coastal topography (Figure 1). Guadalupe shares the same topographic height as SAM, but is located 20 km inland. Therefore, it is likely that greater discharges of water occur in SAM, as a result of the rain fronts. Higher rainfall in SAM probably does not have an immediate impact in grape ripening in both regions. The reduction of more than 20 m of the water table in the Guadalupe area—as a consequence of water extraction in recent years and the current drought in the region—has exceeded the recharge (Campos-Gaytan *et al.*, 2014, Robeson 2015). Major declines in water table have been observed in Valle de Guadalupe's inner zone, and levels have remained relatively constant in the area closest to the coast. The lower depth of the water table in crops near the coast probably provides more moisture in the radicle area and causes slow rates of grape ripening. In addition, higher rainfall in SAM can generate higher recharge in the region of the valley closest to the coast.

Significant differences ($p \leq 0.05$) were observed in temperature, relative humidity, velocity and direction of the dominant Guadalupe and SAM winds, during the grape ripening period (Figure 9). The dominant winds during the day (10:00 a.m. to 2:00 p.m.) in SAM blew in a southwest direction, with intensities generally lower than 4 m s^{-1} ; in Guadalupe, they blew

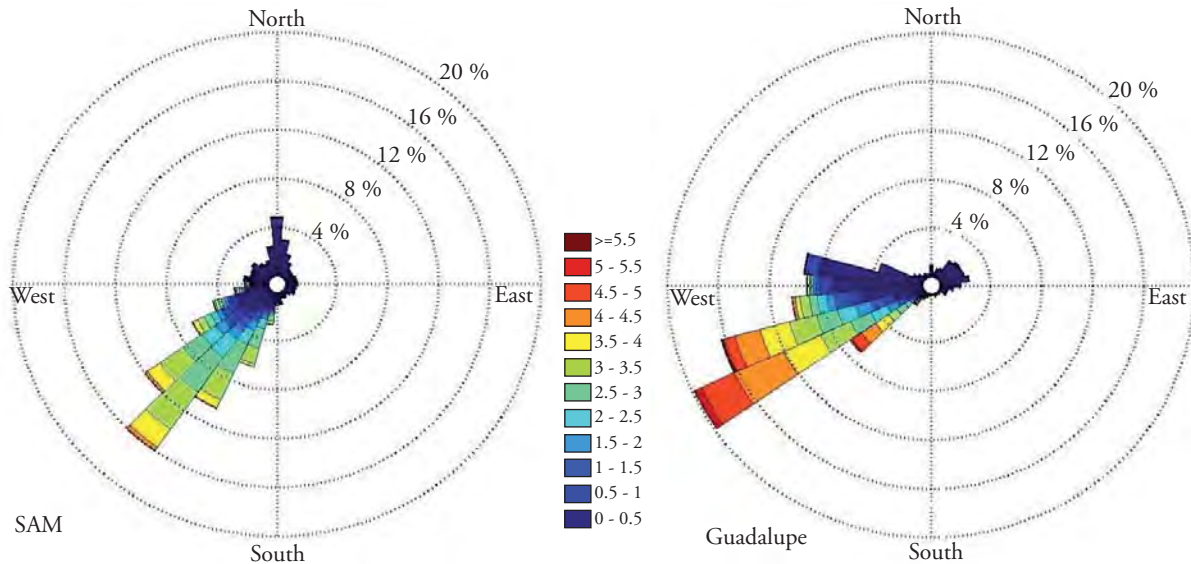


Figura 9. Frecuencia de la velocidad ($m s^{-1}$) y dirección del viento durante julio, agosto y septiembre en Guadalupe y San Antonio de las Minas, Baja California, México.

Figure 9. Frequency of wind speed ($m s^{-1}$) and wind direction during July, August, and September, in Guadalupe and San Antonio de las Minas, Baja California, Mexico.

mayor intensidad en la velocidad del viento ocasiona deshidratación y un estrés hídrico mayores en las uvas de Guadalupe con relación a las uvas de SAM.

CONCLUSIONES

El valle de Guadalupe es una región vitivinícola extensa que presenta variaciones climatológicas a mesoescala. La zona de Guadalupe presenta velocidades del viento mayores, temperaturas promedio y temperaturas máximas más altas a las de San Antonio de las Minas. La humedad relativa y las precipitaciones pluviales fueron menores en Guadalupe que en SAM. La diferencia en las condiciones climáticas parece que aceleran la acumulación de sólidos solubles y la reducción de acidez titulable de la uva *Nebbiolo* de Guadalupe con respecto a SAM. Este efecto en la maduración probablemente está regulando similarmente a la maduración y las características fisiológicas de otras uvas en el valle. Las diferencias de maduración probablemente generen diferencias en la calidad de las uvas y a los vinos de la región.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Fratelli Pasini SA de CV y a Casa de Doña Lupe por permitir la instalación de las estaciones meteorológicas

in the same direction, but they were significantly more intense than in SAM. On the contrary, the afternoon and night winds blew in a north direction in SAM, while Guadalupe, they blew towards the east. In addition, the intensity of the evening/night winds was slightly stronger in SAM than in Guadalupe. The evapotranspiration process depends greatly on wind speed and turbulence in the leaf boundary layer and the grape clusters. Higher wind speeds reduce the thickness of the boundary layer and increase the plants' evapotranspiration, which in turn, increases water stress (Onoda and Anten, 2011). Therefore, the greater intensity in the wind speed likely causes greater dehydration and water stress in Guadalupe grapes than in SAM's.

CONCLUSIONS

Valle de Guadalupe is an extensive winegrowing region that presents mesoscale climatic variations. The Guadalupe area has higher wind speeds, and greater average and maximum temperatures than San Antonio de las Minas. Relative humidity and rainfall were lower in Guadalupe than in SAM. The climatic conditions differences seem to accelerate the accumulation of soluble solids and the titratable acidity reduction of the Guadalupe *Nebbiolo*

y por permitir la recolecta de muestras en sus viñedos para realizar este estudio.

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, Mexico. *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, Mexico. *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.
- Campos-Gaytan, J. R., T. Kretschmar, and C. S. Herrera-Oliva. 2014. Future groundwater extraction scenarios for an aquifer in a semiarid environment: case study of Guadalupe Valley Aquifer, Baja California, Northwest Mexico. *Environ. Monit. Assess.* 186: 7961-7985.
- 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.
- grape compared with SAM's. Perhaps this effect on ripening is also regulating the ripening and the physiological features of other grapes in the valley. Ripening differences are likely to cause differences in the quality of the region' grapes and wines.
- End of the English version—
- *-----
- Guidoni, S., A. Ferrandino, and V. Novello. 2008. Effects of seasonal and agronomical practices on skin anthocyanin profile of Nebbiolo grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 59: 22-29.
- 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.
- LaDochy, S., and M. Witiw. 2011. The continued reduction in dense fog in the Southern California Region: possible causes. *Pure Appl. Geophys.* 169: 1157-1163.
- Lakso, A. N., and W. M. Kliever. 1975. The influence of temperature on malic acid metabolism in grape berries: I. Enzyme responses. *Plant Physiol.* 56: 370-372.
- Lecocq, S., and M. Visser. 2006. Spatial variations in weather conditions and wine prices in Bordeaux. *J. Wine Econ.* 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. Cayán, 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.
- Robeson, S. M. 2015. Revisiting the recent California drought as an extreme value. *Geophysical Res. Lett.* 42: 2015GL064593.
- 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>. (Consulta: 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. 26 pp. http://www.afintegral.com/docs/Geografia_y_estadist_vid_2008.pdf. (Consulta: 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. Berkeley. 710 p.
- Zoecklein, B. W., K. C. Fugelsang, B. H. Gump, and F. S. Nury. 1995. *Wine Analysis and Production*. Chapman-Hall. New York. 296 p.