

## **Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México\***

### **Effects of climate change on the wine production potential of Baja California, Mexico**

César Valenzuela Solano<sup>1§</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2</sup>, Gabriela Ramírez Ojeda<sup>2</sup> y Rufina Hernández Martínez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sitio Experimental Costa de Ensenada. INIFAP. Calle del Puerto Núm. 375-23 Fracc. Playa Eda. Ensenada, B. C. 22880. <sup>2</sup>Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Tepatitlán, Jalisco, México. C. P. 47600. <sup>3</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C. (CICESE). Carretera Ensenada-Tijuana Núm. 3918, Zona Playitas. C. P. 22860, Ensenada, B. C. México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: valenzuela.cesar@inifap.gob.mx.

#### **Resumen**

Baja California posee la única porción en México con clima tipo mediterráneo, cuyas características principales son lluvias en invierno y veranos secos y cálidos. En esta región ubicada en el Noroeste del Estado, se producen los vinos de mayor calidad en México. Se estima que 90% de los vinos mexicanos se obtienen de frutos producidos en alrededor de 3 500 ha de viñedos establecidos en diversos valles agrícolas. La calidad de los vinos regionales es atribuida en buena proporción, a la temperatura media ambiente de 19.8 °C que se presenta durante el período de crecimiento de la vid (de abril a octubre) y a la ausencia de lluvias durante el período de maduración de los frutos, lo que reduce el riesgo de daños a los frutos por parte de fitopatógenos. Las temperaturas favorables ya mencionadas, pueden verse modificadas por los previsibles efectos del cambio climático, tal como ha sido documentado en otras regiones vitícolas del mundo. Lo anterior cambiaría el potencial vitícola de los valles donde actualmente se desarrolla la industria vitivinícola, lo que a su vez tendría un impacto importante sobre la situación socioeconómica de la población que depende de esta actividad agroindustrial. El objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola del estado de Baja California, incluyendo sus regiones vitivinícolas actuales. Se trabajó con los datos

#### **Abstract**

Baja California has the only portion Mexico with Mediterranean climate, whose main features are rains in winter and hot dry summers. In this region, located in the northwest of the State, higher quality wines are produced in Mexico. It is estimated that 90% of Mexican wines are obtained from fruits produced in about 3 500 hectares of vineyards established in various agricultural valleys. The quality of regional wines is attributed to a large extent, the average temperature of 19.8 °C presented over the period of vine growth (April to October) and the absence of rainfall during the ripening period fruits, which reduces the risk of damaging the fruit by plant pathogens. The favourable temperatures mentioned above may be modified by the anticipated effects of climate change, as has been documented in other wine regions. This would change the production potential of the valley where the wine industry currently develops, which in turn would have a significant impact on the socioeconomic status of the population that depends on this agroindustrial activity. The aim of this study was to estimate the effects of climate change on the production potential of Baja California, including its current wine regions. We worked with the daily data of 55 conventional weather stations managed by the State management of the CNA in B. C. For the characterization and definition of wine,

\* Recibido: septiembre de 2014  
Aceptado: febrero de 2015

diarios de 55 estaciones climatológicas convencionales manejadas por la gerencia estatal de la CONAGUA en B C. Para la caracterización y definición del potencial vitícola se utilizaron cuatro índices de temperatura que fueron: grados días de desarrollo (GDD), período libre de heladas (PLH), horas frío (HF) y temperaturas medias máximas (TMM). Para simular los efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de las regiones identificadas, se utilizó el Sistema de Información de Cambio Climático del INIFAP; el cual está basado en la utilización de un modelo ensamble que proporciona valores climáticos ponderados con 10 modelos de circulación general (MCG). Los escenarios obtenidos permiten prever que a futuro (2051-2060), que en las regiones vitivinícolas actualmente en producción de Baja California, existirá un aumento importante en la acumulación de los GDD y las TMM. Debido a lo anterior, estas regiones dejarán de tener las temperaturas adecuadas para producir vinos de alta calidad, a menos que se encuentren nuevos cultivares o clones que se adapten a las condiciones de mayores temperaturas, se apliquen nuevas prácticas de manejo de las plantas, se modifique el diseño de los viñedos, o se realicen ajustes en los procesos de vinificación. En contraste, debido a una disminución del PLH, las regiones altas (>800 m de altura) aledañas a las sierras de Juárez y San Pedro Mártir, así como partes de los Valles de Ojos Negros y la Trinidad tendrían condiciones adecuadas para el cultivo de la vid con propósito de elaboración de vinos de mesa. Por último se encontró que la región de la franja costera que va desde el sur de la Ciudad de Ensenada hasta San Vicente, mantendrá sin cambios significativos sus características de temperaturas propicias para el cultivo de la vid.

**Palabras clave:** cambio climático, grados-día desarrollo, heladas, temperaturas máximas, vid para vino.

## Introducción

El clima es tal vez el factor que más influye en la selección de las áreas más propicias para el establecimiento de los viñedos y el tipo de vino que se obtendrá (White *et al.*, 2006; Gladstones, 2011; Anderson *et al.*, 2012). Entre las variables climáticas, la temperatura en forma de índices sencillos o complejos, es la que más comúnmente ha sido utilizada para comparar y clasificar las diferentes regiones vitícolas (Tonietto y Carbonneau, 2004; Jones *et al.*, 2010). Las temperaturas medias durante el ciclo de crecimiento del cultivo de la vid, consideradas como las más adecuadas

we used four indices of temperature: development degree days (GDD), free period of frost (PLH), cold hours (CH) and maximum average temperatures (TMM). To simulate the effects of climate change on the production potential of the regions, the Information System Climate Change of the INIFAP was used; which is based on the use of an ensemble model that provides climate values weighted with 10 general circulation models (GCMs). The scenarios obtained can predict that in the future (2051-2060), that in the current wine regions in Baja California, there will be an important accumulation of GDD and TMM increased. Because of this, these regions will no longer have the right to produce high quality wines, unless new cultivars or clones that are adapted to the conditions of higher temperatures are found, new management practices are applied in plant, modifying the design of the vineyards, or adjustments in the process of winemaking. In contrast, due to a decrease in PLH, high regions (> 800 m) adjacent to the mountains of Juárez and San Pedro Martir, as well as parts of the valleys of Ojos Negros and Trinidad have suitable conditions for growing table vine winemaking. Finally it was found that, the region of the coastal strip running from the south of the city of Ensenada to San Vicente, maintained without significant temperature changes its characteristics conducive to growing grapes.

**Keywords:** climate change, development degree days, frost, high temperatures, wine grapes.

## Introduction

Climate is perhaps the most influential factor in selecting the most suitable areas for the establishment of the vineyards and the type of wine we get (White *et al.*, 2006; Gladstones, 2011; Anderson *et al.*, 2012). Between climatic variables, temperature as complex or simple indices, is the most commonly used to compare and classify the different wine regions (Tonietto and Carbonneau, 2004; Jones *et al.*, 2010). Average temperatures during the growth cycle of growing grapes, considered the most suitable for the production of grapes for purposes of making high quality wines, ranging between 20 and 22 °C (Gladstones, 2002; Jones *et al.*, 2010). However, it is expected that due to rising temperatures caused by anthropogenic emissions of greenhouse gases (IPCC, 2007), the pattern of geographic location of wine regions modified the display of these characteristics, which has led to the realization of studies to visualize the future

para la producción de uvas con fines de elaboración de vinos de alta calidad, fluctúan entre 20 y 22 °C (Gladstones, 2002; Jones *et al.*, 2010). Sin embargo, se prevé que debido al aumento en las temperaturas causado por la emisión antropogénica de gases de invernadero (IPCC, 2007), el patrón de ubicación geográfica de regiones vitícolas con esas características se vea modificado, lo que ha traído consigo la realización de estudios para visualizar el futuro potencial de esas áreas y las posibles alternativas de mitigación al cambio climático (White *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2010; Diffenbaugh *et al.*, 2011).

Baja California posee la única porción en México con clima tipo mediterráneo, cuyas características principales son lluvias en invierno y veranos secos y cálidos (Davis *et al.*, 1996). En esta región ubicada en el Noroeste del estado, se producen los vinos de mayor calidad en México. Se estima que 90% de los vinos mexicanos se obtienen de frutos producidos en alrededor de 3 000 ha de viñedos establecidos en los valles agrícolas de Guadalupe, San Vicente, Santo Tomás, Ojos Negros, Las Palmas y Ejido Uruapan (Sepúlveda, 2009). La calidad de los vinos regionales puede ser atribuida en buena proporción, a la temperatura media ambiente de 19.8 °C que se presenta en el período de abril a octubre (ciclo de crecimiento de la vid *Vitis vinifera* L.), y a la temperatura media de 20.4 °C del mes de septiembre (Ruiz *et al.*, 2006), época de maduración de los frutos.

En la literatura estos valores son considerados favorables para la formación de pigmentos en uvas tintas, lo que mejora la calidad de la cosecha (Jackson *et al.*, 1978; Gladstones, 2002). Otro factor climático importante en la región es la mínima presencia de lluvias durante la maduración del fruto, lo que reduce la posibilidad de rajaduras del fruto y pudriciones del racimo causadas por hongos como *Botrytis*, cuyo daño demerita la calidad de los frutos (Bettiga *et al.*, 2013). Las temperaturas favorables ya mencionadas, pueden verse modificadas por los previsible efectos del cambio climático tal como ha sido documentado en otras regiones vitícolas del mundo (Nemani *et al.*, 2001; Jones, 2005; Soar *et al.*, 2008; Tomasi *et al.*, 2011).

Lo anterior cambiaría el potencial vitícola de los valles donde actualmente se desarrolla la industria vitivinícola, lo que a su vez tendría un impacto importante sobre la situación socioeconómica de la población que depende de esta actividad agroindustrial. Para diseñar e implementar medidas de adaptación al cambio climático, es necesario generar primero información sobre los posibles escenarios que se pudieran presentar en la región, como resultado de

potential of these areas and possible alternatives to mitigate climate change (White *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2010; Diffenbaugh *et al.*, 2011).

Baja California has the only portion of Mexico with Mediterranean climate, whose main features are rains in winter and hot dry summers (Davis *et al.*, 1996). In this region, located in the northwest of the State, higher quality wines are produced in Mexico. It is estimated that 90% of Mexican wines are obtained from fruits produced in about 3000 hectares of vineyards established in the agricultural valleys of Guadalupe, San Vicente, Santo Tomas, Ojos Negros, Las Palmas and Ejido Uruapan (Sepúlveda, 2009). The quality of regional wines can be attributed to a large extent, the average temperature of 19.8 °C that occurs in the period from April to October (growth cycle of the vine *Vitis vinifera* L.), and the average temperature 20.4 °C in September (Ruiz *et al.*, 2006), time of fruit ripening.

In the literature these values are considered favourable for the formation of pigments in red grapes, which improves the quality of the crop (Jackson *et al.*, 1978; Gladstones, 2002). Another important factor of climate in the region is minimal presence of rain during fruit ripening, which reduces the possibility of cracking of the fruit and bunch rot fungus *Botrytis* whose demerits damage the quality of the fruits (Bettiga *et al.*, 2013). The favourable temperatures just mentioned may be modified by the anticipated effects of climate change, as has been documented in other wine regions of the world (Nemani *et al.*, 2001; Jones, 2005; Soar *et al.*, 2008; Tomasi *et al.*, 2011).

This would change the production potential of the valley where the wine industry currently develops, which in turn would have a significant impact on the socioeconomic status of the population depends on this agroindustrial activity. To design and implement adaptation measures to climate change, it is necessary to generate information on the possible scenarios that might arise in the region, as a result of the impacts of this phenomenon. The aim of this study was to estimate the effects of climate change on the production potential of Baja California, including its current wine regions.

## Materials and methods

While the wine areas of Baja California are located in the northwest portion of the State, corresponding to the region with Mediterranean-type climate (31° 10' and 32° 35' north

los impactos de este fenómeno. El objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola del estado de Baja California, incluyendo sus regiones vitivinícolas actuales.

## Materiales y métodos

Si bien las áreas vitivinícolas de Baja California se ubican en la porción Noroeste del Estado, correspondiente a la región con clima tipo-mediterráneo (31° 10' y 32° 35' latitud norte y los 116° 15' y 117° 5' de longitud oeste), se consideró importante analizar todo el territorio, con el fin de explorar la posibilidad de ubicar nuevas áreas potenciales.

Para la caracterización climática se trabajó con los datos diarios de 55 estaciones climatológicas convencionales manejadas por la gerencia estatal de la CONAGUA en B C, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo y ancho del estado. El número de años con datos de cada estación fue variable. Sin embargo, en la mayor parte de ellas se cuenta con información de más de 25 años. Los datos colectados de cada estación fueron: temperaturas máximas y mínimas, mismos que fueron depurados y normalizados por medio de métodos estadísticos en el INIFAP para crear una base de datos confiables. El siguiente paso fue calcular las estadísticas climatológicas básicas para cada una de las estaciones consideradas en el estudio.

### Índices climáticos

Para la caracterización y definición del potencial vitícola de Baja California, se utilizaron cuatro índices de temperatura los cuales se describen a continuación.

Grados días de desarrollo (GDD): es un índice de la acumulación de calor, comúnmente utilizado para definir la aptitud de una región para el cultivo de la vid (Diffenbaugh *et al.*, 2011; Hall y Jones, 2014). Se basa en la observación de que las plantas de vid inician su crecimiento activo en la primavera cuando la temperatura media del aire alcanza por cinco días consecutivos los 10 °C (Amerine and Winkler, 1944).

De acuerdo con este método los GDD se calculan como se muestra a continuación:

$$GDD = \sum T_m - 10$$

latitude and 116° 15' and 117° 5' west longitude), it was considered important to analyse the entire territory, in order to explore the possibility of locating new potential areas.

For the climatic characterization we worked with the daily data of 55 conventional weather stations managed by the State management of the CNA in BC, which are distributed throughout the State. The number of years with data from each station was variable. However, most of them have information for over 25 years. The data collected from each station were: maximum and minimum temperatures, they were refined and standardized by means of statistical methods in the INIFAP to create a reliable database. The next step was to calculate the core for each of the stations considered in the study climatological statistics.

### Climate indices

For the characterization and definition of production potential of Baja California, four indices of temperature which are described below were used.

Development degree days (GDD) is an index of heat buildup, commonly used to define the suitability of a region for growing grapes (Diffenbaugh *et al.*, 2011; Hall and Jones, 2014). It is based on the observation that the vines begin their active growth in the spring when the average air temperature for five consecutive days reaches 10 °C (Amerine and Winkler, 1944).

According to this method the GDD are calculated as shown below:

$$GDD = \sum T_m - 10$$

Where:  $T_m$  = mean daily temperature (°C).

In the present study, GDD were calculated from an image of average temperature for the period from April to October, when the growth cycle of the vine on the Costa de Ensenada occurs. Once calculated the GDD for different regions of the State, we proceeded to their classification based on the system of viticultural regions proposed by Amerine and Winkler (1944), which considers five classes of viticultural conditions based on the style and quality of wines which can be produced in a given climate. In the climate I (<1 370 GDD) the region of early maturing varieties reach high quality. In region II (1 371-1 650 GDD) most of the early and intermediate varieties produce wines of good quality, light to medium body and

Donde:  $T_m$  = temperatura media diaria ( $^{\circ}\text{C}$ ).

En el presente estudio, los GDD fueron calculados a partir de una imagen de temperatura media del período abril-octubre, época en que ocurre el ciclo de crecimiento de la vid en la Costa de Ensenada. Una vez calculados los GDD para las diferentes regiones del estado, se procedió a su clasificación tomando como base el sistema de regiones vitícolas propuesto por Amerine and Winkler (1944), el cual considera cinco clases de condiciones vitícolas basadas en el estilo y calidad de vinos que pueden ser producidos en un clima dado. En la región climática I ( $< 1\ 370$  GDD) las variedades de maduración temprana alcanzan alta calidad. En región II ( $1\ 371$ - $1\ 650$  GDD) la mayoría de las variedades tempranas e intermedias producen vinos de buena calidad, con cuerpo de ligero a medio y buen balance. La región III ( $1\ 651$ - $1\ 930$  GDD) posee un clima adecuado para alta producción de vinos de estándar a buenos de cuerpo-completo seco, a vinos de mesa dulces. La región IV ( $1931$ - $2205$  GDD) es favorable para altos rendimientos y vinos dulces, y generalmente es inferior para vinos de mesa. Región V ( $> 2\ 205$  GDD) produce generalmente vino de mesa de relleno o vinos fortificados, o es mejor para variedades de uva de mesa o uva pasa.

Período libre de heladas (PLH): para el cálculo del período libre de heladas, el cual nos da los días o meses disponibles para la estación de crecimiento de la vid, se utilizó el método propuesto por Snyder *et al.* (2005). Los cálculos se hicieron considerando una probabilidad de heladas de 90%. La temperatura mínima usada como valor crítico en los cálculos fue de  $0^{\circ}\text{C}$ , ya que a esta temperatura se presentan daños a los brotes de las plantas en la primavera.

Para obtener la imagen de PLH se utilizó el siguiente modelo:

$$\text{PLH} = -2.0091T_{ioa}^2 + 52.658T_{ioa} + 24.52 \quad (r^2 = 0.91)$$

Donde: PLH = Período libre de heladas (días);  $T_{ioa}$  = temperatura mínima media del período octubre-abril ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Los datos de PLH fueron agrupados en las siguientes categorías: A)  $< 135$  días; B)  $136$ - $155$  días; C)  $156$ - $175$  días; D)  $176$ - $195$  días y E)  $> 195$  días libres de heladas.

Horas frío (HF): Los árboles frutales caducifolios como la vid, requieren de un período de reposo en el invierno donde las bajas temperaturas influyen sobre los porcentajes de brotación en la primavera (Kliwer y Soleimani, 1972; Botelho *et al.*, 2007). Debido a que no se cuenta con datos

good balance. The region III ( $1\ 651$ - $1\ 930$  GDD) has a climate suitable for high production of wines at good standard full-body dry to sweet dessert wines. The region IV ( $1\ 931$ - $2\ 205$  GDD) is favourable for high yields and sweet wines, and is generally lower for table wines. Region V ( $> 2\ 205$  GDD) produces generally fill table wine or fortified wine, or is it better to varieties of table grapes or raisins.

Frost-free period (PLH): to calculate the frost-free period, which gives us the days or months available for the growing season, we used the method proposed by Snyder *et al.*, (2005). The calculations were made considering a probability of 90% frost. As the minimum temperature used in the calculations of critical value was  $0^{\circ}\text{C}$ , since at this temperature damage to plant shoots arise in the spring.

The following model was used to obtain the image of PLH:

$$\text{PLH} = -2.0091T_{ioa}^2 + 52.658T_{ioa} + 24.52 \quad (r^2 = 0.91)$$

Where: PLH = free of frost (days) Period;  $T_{IOA}$  = average minimum temperature for the period from October to April ( $^{\circ}\text{C}$ ).

PLH data were grouped into the following categories: A)  $< 135$  days; B)  $136$ - $155$  days; C)  $156$  to  $175$  days; D)  $176$ - $195$  days and E)  $> 195$  days frost-free.

Cold hours (CH): The deciduous fruit trees and vines require a rest period in the winter where low temperatures influence the percentages of sprouting in spring (Kliwer and Soleimani, 1972; Botelho *et al.*, 2007). Because no data are collected every hour, but once in the day, cold hours were calculated using the minimum daily average temperatures recorded at each station in the period from November to February, according to the method of Da Mota (1983), cited by Ortíz (1987) in which the following equation is used:

$$\text{CH} = 485.1 - 28.52T_m$$

Where: CH = cold hours accumulated in the winter period;  $T_m$  = average temperature of the months of November to February.

In order to obtain the total of CH over the year subtotals, CH obtained for each of the four months were added. The CH were classified into four classes: 1)  $< 50$  CH; 2)  $51$ - $150$  CH; 3)  $151$ - $250$  CH and 4)  $> 250$  CH.



colectados cada hora, sino una vez en el día, las horas frío fueron calculadas con las temperaturas mínimas promedio diarias registradas en cada estación en el período comprendido de noviembre a febrero, de acuerdo con el método de Da Mota (1983), citado por Ortíz (1987) en el cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$HF = 485.1 - 28.52T_m$$

Donde: HF= horas frío acumuladas en el período invernal;  
T<sub>m</sub>= temperatura media de los meses de noviembre a febrero.

Para obtener el total de HF acumuladas en el año se sumaron los subtotales de HF obtenidos para cada uno de los cuatro meses. Las HF fueron clasificadas en cuatro clases: 1) < 50 HF; 2) 51-150 HF; 3) 151-250 HF y 4) > 250 HF.

Temperatura máxima media del período abril-octubre (TMM). Para el análisis de áreas potenciales para el cultivo de la vid, se consideró como un parámetro de importancia los valores de temperatura máxima del período abril-octubre. Se definió que regiones con temperaturas superiores a 32 °C no eran aptas para el cultivo de la vid, basado en reportes que señalan que el límite de temperatura máxima para los procesos metabólicos de la vid se ubica entre 30 y 32 °C (Coombe, 1987; Gladstones, 2002).

A partir de matrices de los parámetros climáticos formadas de la base de datos diarios, se generaron imágenes temáticas correspondientes a cada parámetro. Las imágenes se generaron en formato raster por medio de procesos de interpolación geográfica y mediante el sistema IDRISI Andes (Eastman, 2006). Los métodos incluyeron la aplicación de un modelo lati-alto-térmico para la temperatura (Medina *et al.*, 1998). De esta forma se obtuvieron imágenes temáticas de temperatura máxima y temperatura mínima mensuales, a partir de las cuales se obtuvieron algunas otras variables estacionales o anuales, mediante procesos de álgebra de mapas en el sistema IDRISI.

### **Identificación de las regiones climáticas vitícolas de Baja California**

Como primer paso para llegar a la identificación de las regiones climáticas vitícolas de Baja California, se utilizó un procedimiento de regionalización agroecológica cualitativa binaria, esto es de dos estratos:

Average maximum temperature for the period from April to October (TMM). For analysis of potential areas for growing grapes, it was considered as an important parameter values of maximum temperature of the period from April to October. We determined that the regions with temperatures above 32 °C were unsuitable for growing grapes, based on reports that said that the maximum temperature limit for metabolic processes of the vine is between 30 and 32 °C (Coombe, 1987; Gladstones, 2002).

From climatic parameters matrices formed the basis of daily data, thematic images corresponding to each parameter were generated. The images were generated by raster format geographic interpolation process by IDRISI and Andes system (Eastman, 2006). The methods included the application of a heat-high-lati model for temperature (Medina *et al.*, 1998). Thus themed images of maximum temperature and minimum monthly temperatures were obtained, from which some other seasonal or annual variables were obtained through processes of map algebra in the IDRISI system.

### **Identification of climate wine regions of Baja California**

As a first step towards identifying the climate of wine regions in Baja California, a method of qualitative binary agro-ecological regionalization was used, i.e. two strata:

1. Suitable areas for vine
2. Unsuitable or marginal areas vid

The parameters and strata considered are described in Table 1.

Based on the information just presented in the above table, the areas with less than 1 307 GDD and those with more than 2 205. This is excluded because the first value indicates the heat that builds up in the April-October period is insufficient to achieve fruit with enough sugar but with high acidity; while the second shows that the region accumulates so hot that the fruits can have high sugar content but low acidity, making them unfavourable for the production of table wines with good quality. The PLH parameter regions with less than 135 frost-free days, because this is a very short period to allow the growth of any vine cultivar were excluded; in other words the risk of frost damage to plants in these regions is quite high.

1. Áreas aptas para vid
2. Áreas no aptas o marginales para vid

Los parámetros y estratos considerados se describen en el Cuadro 1.

En base a lo presentado en el cuadro anterior, se excluyeron las áreas con menos de 1 307 GDD y aquellas con más de 2 205. Esto porque el primer valor indica que el calor que se acumula en el período abril-octubre es insuficiente para lograr frutos con suficiente azúcar pero si con alta acidez; mientras que el segundo muestra que la región acumula tanto calor que los frutos pueden llegar a tener altos contenidos de azúcar, pero poca acidez, lo que los hace poco favorables para la elaboración de vinos de mesa con buena calidad. Del parámetro PLH se excluyeron las regiones con menos de 135 días libres de heladas, debido a que este es un período muy corto para permitir el crecimiento de cualquier cultivar de vid; en otras palabras el riesgo de daños por heladas en las plantas en esas regiones es muy alto.

En HF fueron excluidas regiones con menos de 150 horas frío, ya que los cultivares de vid requieren acumular en el invierno al menos esa cantidad de frío. En el parámetro de temperaturas máximas fueron eliminadas las regiones con valores mayores a 32 °C, por ser ésta la temperatura límite para una adecuada actividad fotosintética de la vid, además de los riesgos de daños que pueden sufrir los frutos en las etapas de envero a maduración. Finalmente, se eliminaron las áreas ocupadas por centros urbanos y cuerpos de agua.

Una vez excluidas las áreas con parámetros climáticos no aptos para la vid, se procedió a realizar una estratificación de ambientes con base en la combinación de PLH y GDD. Los estratos considerados para estos dos parámetros se describen en el Cuadro 2.

El procedimiento se llevó a cabo en el sistema Idrisi Andes mediante el módulo de álgebra de mapas, ejecutando un análisis multi-criterio que implicó procesos de reclasificación de imágenes de parámetros y la sobreposición de las imágenes reclasificadas. Una vez delimitadas las regiones climáticas, se procedió a estimar las superficies ocupadas por cada una de ellas mediante el comando AREA del sistema IDRISI Andes. Los mapas se generaron con un nivel de detalle de 180 x 180 m (3.24 ha), y se utilizó un mapa de elevación digital con resolución de 90 x 90 m (0.81 ha). Finalmente, los mapas se editaron con proyección cónica de Lambert a través del sistema ArcGis.

### Cuadro 1. Variables y criterios utilizados para determinar regiones climáticas vitícolas en Baja California.

Table 1. Variables and criteria used to determine climate wine regions in Baja California.

Variable	Condición ambiental para la vid	
	Apta	No apta o marginal
Grados días desarrollo abril-octubre (°C)	$\geq 1\ 370 \leq 2\ 205$	$< 1\ 370 > 2\ 205$
Período libre de heladas(días)	$> 135$	$< 135$
Horas frío acumuladas, noviembre-febrero	$> 150$	$< 150$
Temperatura máxima media abr. -oct. (°C)	$< 32$	$> 32$

In CH were excluded regions with less than 150 cold hours as grape cultivars accumulate in the winter require at least that amount of cold. In the setting of maximum temperatures were removed regions with values above 32 °C, as this temperature limit proper photosynthetic activity of the vine, besides the risk of damage sustained by fruit stages of veraison to maturation. Finally, the areas occupied by urban centres and bodies of water were removed.

After excluding areas unsuitable for vine climatic parameters, we proceeded to perform a stratified environments based on the combination of AHP and GDD. The strata considered for these two parameters are described in Table 2.

### Cuadro 2. Intervalos de PLH y GDD para determinar regiones climáticas vitícolas en B.C.

Table 2. PLH and GDD intervals to determine climate wine regions in B. C.

Intervalos	PLH (días)	GDD (°C)
		$< 135$
	135 - 155	1 371 - 1 650
	156 - 175	1 651 - 1 930
	176 - 195	1 931 - 2 205
	$> 195$	$> 2\ 205$

The procedure was performed in Idrisi Andes system using map algebra module, running a multi-criteria reclassification processes involving imaging parameters and the superimposition of images reclassified analysis. Once the climatic regions were bound we proceeded to estimate the areas occupied by each of them by the AREA command system IDRISI Andes. The maps were generated with a level

## Cambio climático y el potencial vitícola de Baja California

Para simular los efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de las regiones identificadas, se utilizó el sistema de información de cambio climático (SICC) del INIFAP (Ruiz *et al.*, 2010); el cual está basado en la utilización de un modelo ensamble y proporciona valores climáticos ponderados con 10 modelos de circulación general (mpi\_echam5, miub\_echo\_g, csiro\_mk3\_0, csiro\_mk3\_5, cccma\_cgcm3\_1, giss\_model\_e\_r, ncar\_ccsm3\_0, miroc3\_2\_hires, mri\_cgcm2\_3\_2<sup>a</sup>, ukmo\_hadcm3). Con el sistema mencionado se estimaron los GDD, PLH, HF y las regiones climáticas vitícolas para las décadas 2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060, considerando el escenario de emisiones de gases efecto invernadero A2 (IPCC, 2007). El manejo de esta información se realizó a través del sistema Idrisi Andes con imágenes en formato raster.

## Resultados y discusión

### Índices climáticos

GDD. En la Figura 1 se muestran los GDD acumulados del día primero de abril al 30 de octubre, calculados en base al método de Amerine and Winkler (1944). Se observa que en la situación presente (período 1961-2010) en el estado se pueden encontrar las cinco regiones vitícolas descritas por estos autores. Como era de esperarse, las regiones donde menos GDD se acumulan se localizan en las partes más altas del estado, como es el caso de las Sierras de San Pedro Mártir ubicada al oeste de San Felipe y Juárez al este de Ojos Negros, donde las temperaturas son más bajas. En esos lugares la altitud sobre el nivel medio del mar sobrepasa los 1 000 m. En contraste las regiones desérticas ubicadas a mucha menor altitud y al este del estado, tienen una gran acumulación de GDD (> 2 205 °C).

El análisis de los mapas elaborados permite vislumbrar el impacto que el cambio climático puede tener sobre los GDD en las diferentes regiones del estado. Se observa que a través de los tres escenarios futuros, los GDD aumentarán en todo el estado, con el resultado de que para 2051-2060, solo las regiones de mayor altitud y algunas áreas costeras del Oeste del estado, acumularán valores de GDD menores a los 2205, el límite máximo sugerido para obtener frutos de buena calidad para la elaboración de vinos (Winkler *et al.*, 1972; Gladstones, 2005). De acuerdo a lo expuesto, los valles vitícolas donde actualmente se producen vinos de calidad

of detail of 180 x 180 m (3.24 ha), and digital elevation map was used with a resolution of 90 x 90 m (0.81 ha). Finally, the maps were edited with conical Lambert projection through the ArcGIS system.

## Climate change and the growing potential of Baja California

In order to simulate the effects of climate change on the production potential of the regions identified, the information system of climate change (SICC) by INIFAP was used (Ruiz *et al.*, 2010); which is based on the use of an assembly model and provides climate values weighted with 10 GCMs (mpi\_echam5, miub\_echo\_g, csiro\_mk3\_0, csiro\_mk3\_5, cccma\_cgcm3\_1, giss\_model\_e\_r, ncar\_ccsm3\_0, miroc3\_2\_hires, mri\_cgcm2\_3\_2<sup>a</sup>, ukmo\_hadcm3). With that system were estimated GDD, PLH, CH and wine climatic regions for the decades 2011-2020, 2031-2040 and 2051-2060, considering the scenario of greenhouse gas emissions A2 (IPCC, 2007). The management of this information is performed using Idrisi Andes system images in raster format.

## Results and discussion

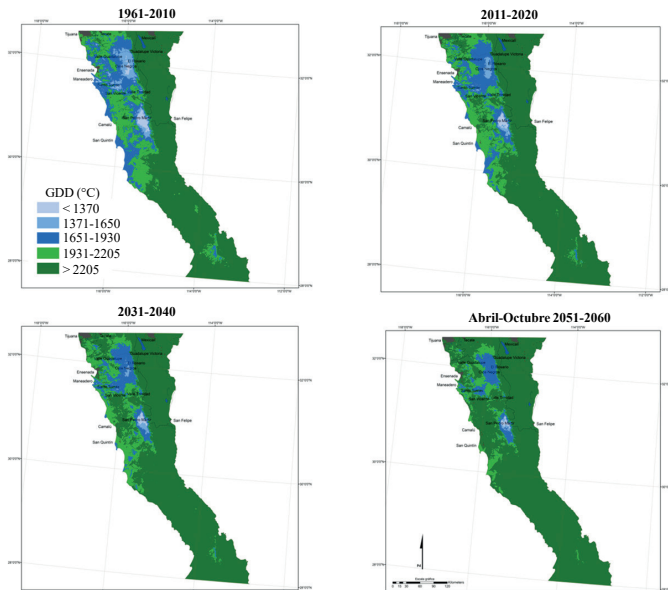
### Climate indices

GDD. In the Figure 1 are shown the cumulative GDD of the first day of April to October 30, calculated based on the method Amerine and Winkler (1944). It is noted that in the present situation (period 1961-2010) in the State we can find the five wine regions described by these authors. As expected, the regions where less GDD accumulate are located in the highest parts of the State, as in the case of the Sierra de San Pedro Martir located west of San Felipe and Juárez east of Ojos Negros, where temperatures are lower. In such places the altitude above mean sea level exceeds 1 000 m. In contrast desert regions located at a much lower altitude and east of the State, have a large cumulative GDD (> 2 205 °C).

The analysis of the processed maps can envision the impact that climate change may have on the GDD in different regions of the State. It is noted that even through, the three future scenarios, the GDD increase statewide, with the result that for 2051-2060, only the higher altitude regions and some coastal areas of western State values less accumulate GDD to the 2205, the maximum suggested for good quality fruit for winemaking (Winkler *et al.*, 1972; Gladstones, 2005).



como Guadalupe, Santo Tomás, San Vicente y Ojos Negros, quedarán después del año 2051 ubicados de acuerdo a la clasificación de Amerine and Winkler (1944), en la región vitícola V, esto es, donde las condiciones climáticas no serían favorables para obtener vinos de calidad.



**Figura 1. GDD (°C) acumulados en el período de abril a octubre en las condiciones actuales, y tres escenarios futuros en Baja California.**

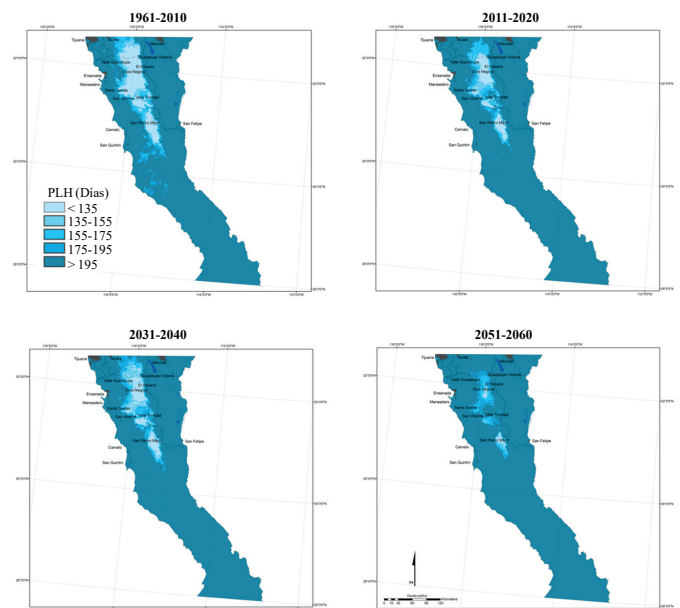
**Figure 1. GDD (°C) accumulated in the period from April to October in the current conditions, and three future scenarios in Baja California.**

PLH. El mapa de PLH (Figura 2) muestra la clasificación de las cinco regiones de B C, como era de esperarse las regiones con mayores altitudes sobre el nivel del mar, ubicadas en o cercanas a las sierras de San Pedro Mártir y Juárez indicadas por el color blanco, tienen un PLH menor a 135 días, lo que limita su viabilidad para el cultivo de la vid. Por el contrario las regiones donde se ubican los valles vitícolas, como Guadalupe, Santo Tomás y San Vicente tienen PLH mayores a 195 días, lo que permite el cultivo de la vid con riesgos mínimos de daños por heladas.

HF. Los datos obtenidos permiten concluir que en las condiciones actuales y en los tres escenarios futuros, las principales áreas vitivinícolas del estado tendrán una acumulación de HF superior a las 250 (Figura 3). Dado que la mayoría de las variedades de vid para vino requieren menos de 250 HF para lograr una buena brotación en la primavera (Weaver and Iwasali, 1977; Botelho *et al.*, 2007), se puede concluir que de manera general este factor no debe ser una limitante para el cultivo de la vid en B C.

According to this, the wine valleys where currently such as Guadeloupe, St. Thomas, St. Vincent and Ojos Negros occur, after the year 2051 will be placed according to the classification of Amerine and Winkler (1944), in the wine region V, that is, where the climatic conditions would not be favourable for quality wines.

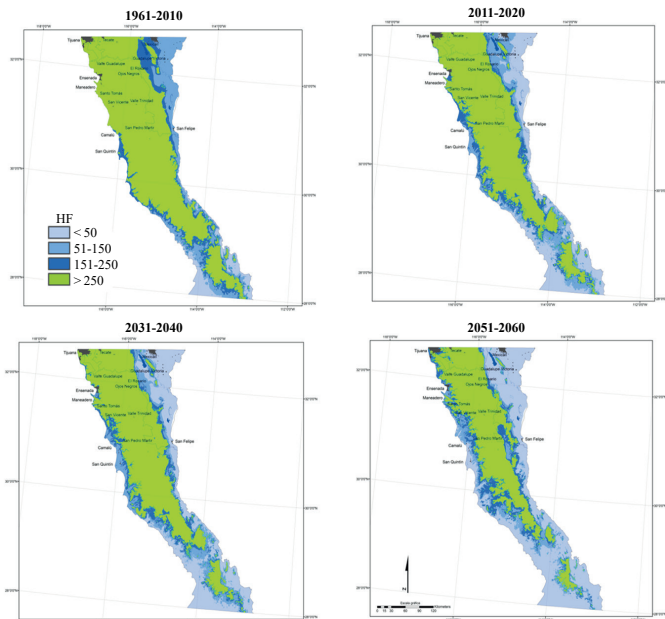
PLH. The PLH map (Figure 2) shows the classification of the five regions of B.C., as the regions with higher altitudes above sea level, located in or near the mountains of San Pedro Martir and Juárez indicated by the white expected colour, have less than 135 days PLH, which limits its feasibility for growing grapes. By contrast the regions where the wine valleys are located, such as Guadalupe, Santo Tomas and San Vicente have PLH greater than 195 days, allowing the cultivation of the vine with minimal risk of frost damage.



**Figura 2. PLH de noviembre a febrero en las condiciones actuales, y en tres escenarios futuros en Baja California.**

**Figure 2. PLH from November to February in the current conditions, and in three future scenarios in Baja California.**

CH. The data indicate that under current conditions and the three future scenarios, the major wine areas of the State have an accumulation of CH higher than 250 (Figure 3). Since most of the varieties of wine grapes require less than 250 CH for good bud break in the spring (Weaver and Iwasali, 1977; Botelho *et al.*, 2007), we can conclude that in general, this factor should not be a limiting factor for growing grapes in B. C.



**Figura 3. HF acumuladas en el período de noviembre a febrero en las condiciones actuales, y en tres futuros escenarios en B. C.**

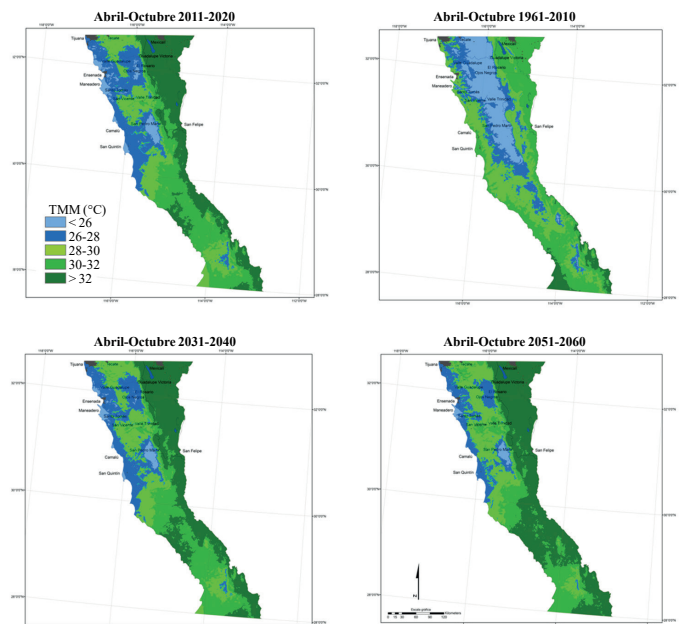
**Figure 3. CH accumulated in the period from November to February in the current conditions, and three future scenarios in B. C.**

TMM. En el escenario 1961-2010, se observa que las TMM en el periodo de abril a octubre, las regiones con valores superiores a 32 °C, e identificadas en la Figura 4 con color verde intenso, se localizan en la franja desértica-costera del este del estado, e incluyen en el norte al Valle de Mexicali, y en el Sur el límite de estado. Debido a sus altas temperaturas, toda esa porción queda descartada en el presente trabajo como área con potencial para el cultivo de la vid para vino. Como se aprecia en los tres escenarios siguientes, las áreas con TMM superiores a los 32 °C, aumentan con el paso del tiempo, lo que implica una reducción importante de las áreas con potencial para el cultivo de la vid para vino en B. C. De acuerdo con el escenario 2051-2060, el área comprendida entre la costa noroeste del estado y las sierras con alturas superiores a los 1 000 m (señaladas con el color azul claro), serían las que conservarían el potencial para la actividad vitivinícola.

### Cambio climático y potencial vitícola

La interacción entre las variables climáticas y bioclimáticas, permitió identificar 20 regiones climáticas vitícolas en B. C., las cuales se muestran en la Figura 5. En el escenario 1961-2010, las regiones productoras de los mejores vinos de México como el Valle de Guadalupe (Francisco Zarco), Santo Tomás, y San Vicente, se encuentran ubicadas dentro

TMM. In the 1961-2010 scenario, the TMM is observed in the period from April to October, regions with higher than 32 °C values, and identified in Figure 4 with intense green colour are located on the fringe of the desert-coastal east of the State, and include in the north to Mexicali Valley and Southern limit State. Due to its high temperatures, all that portion is discarded in this paper as an area with potential for growing grapes for wine. As shown in the following three scenarios, areas with TMM above 32 °C, increase with the passage of time, implying a significant reduction in areas with potential for growing grapes for wine in B. C. According to the 2051-2060 scenario the area between the west coast of the State and saws higher than 1 000 m (indicated by the light blue) heights, would retain the potential for the wine industry.



**Figura 4. Temperaturas máximas medias (TMM) en el período de abril a octubre en las condiciones actuales, y en tres futuros escenarios en B. C.**

**Figure 4. Mean maximum temperatures (TMM) in the period from April to October in the current conditions, and three future scenarios B. C.**

### Climate change and growing potential

The interaction between climatic and bioclimatic variables identified 20 viticultural climatic regions in B. C., which are shown in Figure 5. In the 1961-2010 scenario producing regions of the best wines of Mexico such as the Valle de Guadalupe (Francisco Zarco), St. Thomas, and St. Vincent are located within growing regions III and IV of Amerine and Winkler (1944) with a cumulative GDD between

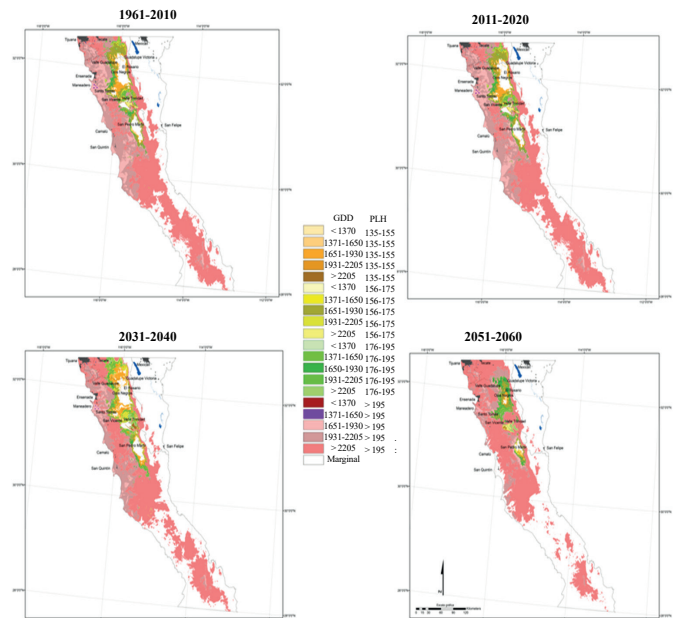
de las regiones vitícolas III y IV de Amerine and Winkler (1944) con una acumulación de GDD de entre 1 651 y 1 930, y con un periodo libre de heladas de más de 195 días, lo que permite desarrollar cultivares de vid tanto de ciclo corto como largo. También la porción Oeste del Valle de Ojos Negros, se ubica dentro de esta clasificación, mientras que la parte Este queda clasificada en la región II con menos de 155 días libres de heladas. Lo cual significa que solo cultivares de ciclo corto a intermedio podrían ser establecidos en esa parte.

En el escenario 2011-2020, estas regiones conservarían las características ya mencionadas, con excepción de la porción Este de San Vicente que pasaría a la región vitícola V, esto es ya no sería apta para producir vinos de mesa de calidad. En el siguiente escenario (2031-2040), los Valles de Guadalupe, Santo Tomás y San Vicente Premium, quedarían clasificados en la V región vitícola con un PLH superior a los 195, lo anterior como consecuencia del aumento en la temperatura. El valle de Ojos Negros seguiría conservando la clasificación IV, con excepción de la parte norte que tomaría la clasificación V.

Finalmente en el último escenario considerado (2051-2060), los cuatro valles ya mencionados quedarían clasificados en la región V con un PLH superior a los 195 días. De acuerdo con estas últimas predicciones, dentro de 37 años las actuales regiones vitícolas de Baja California donde se producen los mejores vinos de México, dejarían de serlo para convertirse en áreas no aptas para vinos de mesa de calidad. Su aptitud sería entonces para producir frutos para elaborar vinos de mesa de relleno o vinos fortificados, así como para variedades de uva de mesa o uva pasa. Lo anterior podría cambiarse si se encuentran nuevos cultivares o clones que se adapten a las condiciones de mayores temperaturas, se apliquen nuevas prácticas de manejo de las plantas, se modifique el diseño de los viñedos, o se realicen ajustes en los procesos de vinificación como ha sido sugerido por algunos autores (Jones *et al.*, 2005; Holland and Smit, 2010; Duchené *et al.*, 2014; Vigué *et al.*, 2014).

Por otra parte, el análisis de los mapas permite identificar las áreas que bajo los efectos del cambio climático podrían convertirse en las nuevas regiones productoras de vinos de calidad en el estado de B C, Las imágenes muestran que en el largo plazo (2051-2060), las regiones aledañas a las sierras de Juárez y San Pedro Mártir, así como partes de los Valles de Ojos Negros y la Trinidad tendrían condiciones adecuadas para el cultivo de la vid cuyo propósito fuera la elaboración de vinos de mesa. Esta misma condición sería para la franja costera que va desde el sur de la Ciudad de Ensenada hasta San Vicente.

January 1651 and 1930, and a frost-free period of more 195 days, which allows grape cultivars develop both short and long cycle. Also the West Valley Ojos Negros portion lies within this classification, while the eastern part is classified in the region II with less than 155 frost-free days. This means that only short cultivars intermediate cycle could be established in this part.



**Figura 5. Escenarios del cambio del potencial vitícola de B. C., en función del cambio climático.**

**Figure 5. Stages of change of production potential of B.C., depending on climate change.**

In the 2011-2020 scenario, these regions retain the characteristics mentioned above, except for the eastern portion of San Vicente would happen to the wine region V, this is already not be suitable for yielding table wine quality. In the next stage (2031-2040), the Valley of Guadalupe, Santo Tomas and San Vicente Premium, would be classified in the V PLH wine region with more than 195, the above as a result of the increase in temperature. The Ojos Negros valley would retain the classification IV, except for the north would take the classification V.

Finally in the last scenario considered (2051-2060), the four valleys mentioned above would be classified in the region V with PLH more than 195 days. According to these latest predictions, within 37 years the current wine regions of Baja California where the best wines of Mexico, would cease to be to become unfit for quality table wines areas. Producing fruits for making table wines fill or fortified wines, as well as varieties of table grapes or raisins. This

## Conclusiones

Los escenarios obtenidos permiten prever que a futuro (2051-2060), en las regiones vitivinícolas actualmente en producción de Baja California, existirá un aumento en la acumulación de los grados días de desarrollo y las temperaturas máximas medias ( $> 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), mientras que la acumulación de horas frío y el período libre de heladas se mantendrán sin cambios. Debido a lo anterior, estas regiones dejarán de tener las temperaturas adecuadas para producir vinos de alta calidad, a menos que se encuentren nuevos cultivares o clones que se adapten a las condiciones de mayores temperaturas, se apliquen nuevas prácticas de manejo de las plantas, se modifique el diseño de los viñedos, o se realicen ajustes en los procesos de vinificación.

En contraste, debido a un aumento del período libre de heladas, las regiones aledañas a las sierras de Juárez y San Pedro Mártir, así como partes de los Valles de Ojos Negros y la Trinidad tendrían condiciones adecuadas para el cultivo de la vid con propósito de elaboración de vinos de mesa.

Por último se encontró que la región de la franja costera que va desde el sur de la Ciudad de Ensenada hasta San Vicente, mantendrá sin cambios significativos sus características de temperaturas propicias para el cultivo de la vid.

## Literatura citada

- Amerine, M. A and Winkler, A. K. J. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15:493-673.
- Anderson, J. D.; Jones, G. V.; Tait, A.; Hall, A. and Trought, M. T. C. 2012. Analysis of viticulture region climate structure and suitability in New Zealand. *Inter. J. Vine Wine Sci.* 49(3):149-165.
- Bettiga, L. J. and Gubler, W. D. 2013. Bunch rots. *In: grape pest management*. Bettiga, L. J. (Ed.). Third Edition. University of California. Pub. 3343. 609 p.
- Botelho, R. V.; Pavanello, A. P.; Pires, E. J. P.; Terra, M. M. and Muller, M. M. L. 2007. Effects of chilling and garlic extract on bud dormancy release in Cabernet Sauvignon grapevine cuttings. *Am. J. Enol. Vitic.* 58:402-404.
- Coombe, B. G. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Hort.* 206:23-35.
- Davis, G. W.; Richardson, D. M.; Keeley, J. E. and Hobbs, R. J. 1996. Mediterranean-type ecosystems: the influence of biodiversity on their functioning. *In: functional roles of biodiversity: a global perspective*. Mooney, H. A.; Cushman, J. H.; Medina, E.; Sala, O. E. and Schulze, E. D. (Eds.) John Wiley & Sons Ltd.

could change if new cultivars or clones that are adapted to the conditions of higher temperatures, new management practices are applied plants, the design of the vineyards is changed, or adjustments in the winemaking as has been suggested by some authors (Jones *et al.*, 2005; Holland and Smit, 2010; Duchêne *et al.*, 2014; Vigié *et al.*, 2014).

On the other hand, the analysis of the maps can identify areas under the effects of climate change could become the new producing quality wine regions in the State of B. C. The images show that in the long term (2051-2060), the regions around the mountains of Juárez and San Pedro Martir, as well as parts of the valleys of Ojos Negros and Trinidad have suitable conditions for growing grapes whose purpose is the development of table wines. This condition would be for the coastal strip running from the south of the city of Ensenada to San Vicente.

## Conclusions

The scenarios obtained can predict that in the future (2051-2060) in wine-producing regions currently in production in Baja California, there will be an increase in the accumulation of grades development days and average maximum temperatures ( $> 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), while the accumulation of cold hours and the frost-free period will remain unchanged. Because of this, these regions will no longer have the right to produce high quality wines temperatures, unless new cultivars or clones that are adapted to the conditions of higher temperatures are found, new management practices are applied in plants modifying the design of the vineyards, or adjustments in the process of winemaking.

In contrast, due to increased frost-free period, the regions around the mountains of Juarez and San Pedro Martir, as well as parts of the valleys of Ojos Negros and Trinidad have suitable conditions for growing grapes for the purpose of making table wines.

Finally, we found that the region of the coastal strip running from the south of the city of Ensenada to San Vicente, maintained without significant temperature changes its characteristics conducive to growing grapes.

*End of the English version*





- Diffenbaugh, N. S.; White, M. A.; Jones, G. V. and Ashfaq, M. 2011. Climate adaptation wedges: a case study of premium wine in the western United States. *Environ. Res. Lett.* 6:1-11.
- Duchêne, E.; Huard, F.; Dumas, V.; Schneider, C. and Merdinoglu, D. 2010. The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Clim Res* 41:193-204.
- Eastman, J. R. 2006. IDRISI v 15.1. IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing Vol. 1. Clark Labs - Clark University. Worcester, Mass. USA. 328 p.
- Gladstones, J. 2002. *Viticulture and environment*. Adelaide, winetitles, 310 p.
- Gladstones, J. 2005. Climate and Australian viticulture. *In: viticulture 1 - resources*, Dry, P. R. and Coombe, B. G. (Ed.). Winetitles, 255 p.
- Gladstones, J. 2011. *Wine, terroir and climate change*. Adelaide, Wakefield Press. 288 p.
- Hall, A. and Jones, G. V. 2014. Spatial analysis of climate in winegrape-growing regions in Australia. *Am. J. Enol. Vitic.* 65: 72-80.
- Holland, T and Smit, B. 2010. Climate change and the wine industry: current research themes and new directions. *J. Wine Res.* 21:(2-3):125-136.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate change 2007: mitigation of climate change*. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Metz, B.; Davidson, O.; Bosch, P.; Dave, R. and Meyer, L. (Eds.). Cambridge University Press, UK and USA. 851 p.
- Jackson, M. G.; Timberlake, C. F.; Bridle, P. and Vallis, L. 1978. Red wine quality: correlations between colour, aroma and flavor and pigment and other parameters of young Beaujolais. *J. Sci. Food Agric.* 29:715-727.
- Jones, G. V. 2005. Climate change in the western United States grape growing regions. *Acta Hort.* 689:41-60.
- Jones, G. V.; 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. Vitic.* 61: 313-326.
- Jones, G. V.; White, M. A.; Owen, R. C.; and Storchmann, K. 2005. Climate Change and the global wine quality. *Climatic Change*. 73:319-3043.
- Kliewer, W. M. and Soleimani, A. 1972. Effect of chilling on budbreak in "Thompson seedless" and "Carignane" grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 23:31-34.
- Medina, G. G.; Ruíz, C. J. A. y Martínez P. R. A. 1998. *Los climas de México. Una estratificación ambiental basada en el componente climático*. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. Libro técnico Núm. 1103 p.
- Nemani, R. R.; White, M. A.; Cayan, D. R.; Jones, G. V.; Running, S. W.; Joseph, C.; Coughlan, J. C. and Peterson, D. L. 2001. Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. *Climate Research* 19:25-34.
- Ortiz, S. C. A. 1987. *Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana*. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). México. 327 p.
- Ruiz, C. J. A.; Díaz, P. G.; Guzmán, R. S. D.; Medina, G. G. y Silva, S. M. M. 2006. *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Baja California (periodo 1961-2003)*. INIFAP. Libro técnico Núm. 1. 164 p.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Manríquez, O. J. D. y Ramírez, D. J. L. 2010. *Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático*. Informe final proyecto INIFAP-INE. Guadalajara, Jalisco, México. 108 p.
- Sepúlveda, B. I. S. 2009. *Distribución geográfica y estadística de la viticultura en Baja California*. VI Seminario internacional de vitivinicultura. México, D. F. 7-14.
- Snyder, R. L.; de Melo-Abreu, J. P. and Matulich, S. 2005. *Frost protection: fundamentals, practice and economics*. FAO. 64 p.
- Soar, C. J.; Sadras, V. O. and Petrie, P. R. 2008. Climate drivers of red wine quality in four contrasting Australian wine regions. *Australian J. Grape and Wine Research* 14:78-90.
- Tonnieto, J. and Carbonneau, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. Forest Meteorol.* 124: 81-97.
- Tomasi, D.; Jones, G. V.; Giust, M.; Lovat, L. and Gaiotti, F. 2011. Grapevine phenology and climate change: relationships and trends in the Veneto Region of Italy for 1964-2009. *Am. J. Enol. Vitic.* 62:329-339.
- Viguié, V.; Lecocq, F. and Touzard, J. M. 2014. *Viticulture and adaptation to climate change*. Special Laccave. *J. Int Sci. Vigne Vin.* 55-60.
- Weaver, R. J. and Iwasaki, K. 1977. Effect of temperature and length of storage, root growth and termination of bud rest in 'Zinfandel' grapes. *Amer. J. Enol. Vitic.* 28:149-151.
- White, M. A.; Diffenbaugh, N. S.; Jones, G. V.; Pal, J. S. and Giorgi, S. 2006. Extreme heat reduces and shift United States premium wine production in the 21<sup>st</sup> century. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103:11217-11222.
- Winkler, A. J.; Cook, J.; William, A. Mark, K. W. M. and Lider, L. A. 1972. *General Viticulture*. Second Edition. University of California Press. 710 p.