

# MONITOREO HIGROTÉRMICO DE CAVA DE VINO SUBTERRÁNEA EN EL VALLE DE GUADALUPE

Verónica Jiménez López<sup>1</sup>  
Adolfo Gómez Amador<sup>1</sup>  
Aníbal Luna León<sup>2</sup>  
Gonzalo Bojórquez Morales<sup>2</sup>

## Resumen

El Valle de Guadalupe es la zona con mayor producción vinícola en México, con más de 190,000 hl de vino al año que representan casi 90% del total del vino anual producido en el país. El monitoreo higrotérmico en espacios interiores es una actividad que permite recabar información útil para el estudio de la eficiencia energética de edificios, el confort térmico humano, así como para las condiciones adecuadas para la preservación de vino. Contar con instrumentación especializada y cumplir con normas y estándares internacionales son requisitos para un registro correcto de datos de monitoreo. El objetivo del presente estudio fue analizar las variaciones higrotérmicas del ambiente interior de una cava de vino subterránea ubicada en el Valle de Guadalupe, en comparación con las condiciones meteorológicas del exterior. Se caracterizó y seleccionó un caso de estudio donde se instalaron sensores de temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro y humedad relativa, además de una estación meteorológica para mediciones del microclima. Los resultados obtenidos para el periodo cálido, muestran la estabilidad de las condiciones higrotérmicas interiores en comparación con el exterior, debido a la influencia de la temperatura del suelo, por la ubicación subterránea del edificio.

---

1 Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima, Coquimatlán, México, [vjimenez0@uclm.mx](mailto:vjimenez0@uclm.mx), [amad@uclm.mx](mailto:amad@uclm.mx)

2 Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México, [anibal@uabc.edu.mx](mailto:anibal@uabc.edu.mx), [gonzalobojorquez@uabc.edu.mx](mailto:gonzalobojorquez@uabc.edu.mx)

**Palabras clave:** Monitoreo higrotérmico, ambiente térmico, desempeño térmico, cava de vino, Valle de Guadalupe.

## Abstract

Valle de Guadalupe is the area with the highest wine production in Mexico, with more than 190,000 hl of wine per year, representing almost 90% of the total annual wine produced in the country. Hygrothermal monitoring in indoor spaces is a basic activity giving useful information for the study of the energy efficiency of buildings, human thermal comfort and preservation conditions of wine. Having specialized instrumentation and complying with international norms and standards are requirements for maximize precision and accuracy of collected data. This study aims to analyze the hygrothermal variations in the indoor spaces of an underground wine cellar located in Valle de Guadalupe, México, in comparison with the exterior environmental conditions. For this a case study was selected and characterized, where data loggers of dry bulb temperature, black globe temperature and relative humidity were installed, in addition the exterior conditions were monitored by a micro weather station. The results obtained for the warm period show that interior hygrothermal conditions present much greater stability than exterior conditions, due to the ground thermal properties and the underground location of the wine cellar.

**Keywords:** Hygrothermal monitoring, Thermal environment, Thermal performance, Wine cellar, Valle de Guadalupe.

## Introducción

El 90% del vino mexicano se produce en los valles de Baja California, en la región conocida como “Ruta del Vino” que incluye los municipios de Tecate, Ensenada y Tijuana, con una producción estimada de  $1.9 \times 10^5$  hectolitros (hl) al año (Cavazos, 2012). El Valle de Guadalupe, en Ensenada, es la zona vitivinícola de mayor extensión territorial y la más importante del estado debido a su cantidad de producción, clima de tipo mediterráneo y ubicación geográfica óptima para el cultivo de vid. Se ubica al noroeste de México ( $32^{\circ}05'47''$  N y  $116^{\circ}34'21''$  O), a 100 kilómetros de distancia con la frontera suroeste de Estados Unidos, dentro de los paralelos  $30^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  N reconocidos a nivel mundial como la franja del vino.

La extensión territorial del Valle de Guadalupe es de 663.53 km<sup>2</sup> (Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, 2016). En el año 2005 su población era de 6,648 habitantes divididos en tres delegaciones rurales: Francisco Zarco, San Antonio de las Minas y El Porvenir. Según Cavazos (2012) el escenario de crecimiento de la población se estima entre 12,000 y 45,000 habitantes para el año 2025.

De acuerdo con datos obtenidos por observación y encuestas realizadas de manera directa en el año 2016, se puede mencionar que en el Valle de Guadalupe existen más de 80 casas vinícolas, de las cuales aproximadamente 77% son pequeños productores que utilizan procesos tradicionales de vinificación, por lo que se consideran de tipo artesanal, con una producción menor a 900 hl (10,000 cajas) de vino al año. El otro 23% está compuesto por productores medianos y de tipo industrial, estos últimos con una producción anual mayor a 4500 hl.

Para este trabajo se definió como cava el espacio destinado a la producción y envejecimiento del vino. La cava es una construcción que necesita condiciones ambientales interiores específicas y controladas para asegurar la calidad del producto final (Mazarrón, Cid-Falceto, Cañas, 2012).

El objetivo del presente estudio fue analizar las variaciones higrótérmicas del ambiente interior de una cava de vino subterránea ubicada en el Valle de Guadalupe, en comparación con las condiciones meteorológicas del exterior. Lo anterior, debido a que las cavas de vino requieren rangos controlados de temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior para los procesos de elaboración y envejecimiento del vino. Además, la diversidad de materiales y sistemas constructivos utilizados, hacen necesario el uso de sistemas activos de enfriamiento, calentamiento o humidificación, lo que genera un incremento del consumo de energía, no renovable en la mayoría de este tipo de edificios.

La necesidad de control ambiental interior y la poca o nula adecuación de las cavas de vino al clima local afectan directamente a los productores artesanales, ya que son los que tienen menor capacidad económica para solventar el costo por consumo de energía eléctrica, lo que ocasiona el aumento en el precio final de sus productos y disminuye sus posibilidades de competencia en el mercado.

A partir de un análisis comparativo, basado en literatura especializada, se obtuvo que el rango de temperatura ambiente interior para el área de envejecimiento del vino es de 10 °C a 15 °C y para el área de producción de 15 °C a 25 °C (Barbaresi *et al.*,

2014; Boulton *et al.*, 1995; Hidalgo, 2003; Mazarrón, Cid-Falceto y Cañas, 2012 y Sáez, 2011). En cuanto a la humedad relativa el valor mínimo reportado por autores varios es de 30% y el máximo de 75% (Tinti *et al.*, 2014; Ramos-Sanz y Blasco-Lucas, 2011; Cooke y Lapsley, 1988).

## **Método**

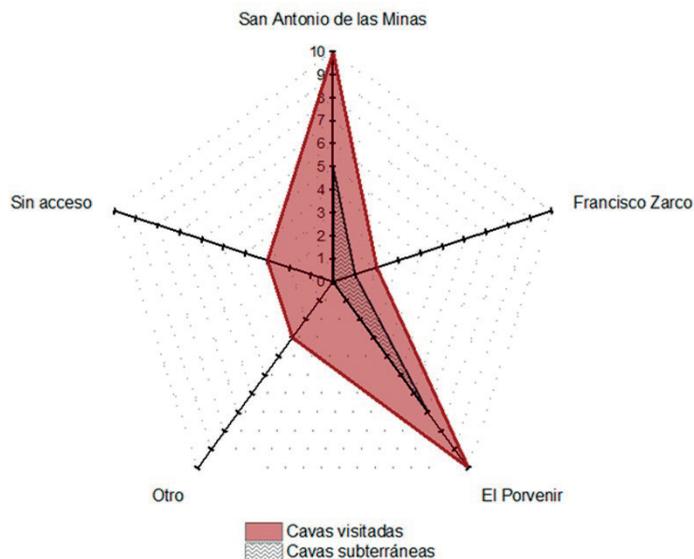
El diseño de la investigación se dividió en cuatro apartados: 1) caso de estudio, que incluyó la selección y caracterización de una cava de vino del Valle de Guadalupe, 2) monitoreo higrotérmico interior y exterior y 3) análisis de datos, a partir de un método comparativo.

### **1. Caso de estudio**

Para la selección del caso de estudio se realizó una caracterización de 24 cavas de vino ubicadas en el Valle de Guadalupe, que representaron el 30% del total de este tipo de edificios en la zona de estudio (dato observado hasta el año 2016). Para su caracterización se diseñó una cédula de registro de información con seis secciones: 1) datos de control, 2) datos de la vinícola, 3) características constructivas, 4) características arquitectónicas, 5) condiciones ambientales y 6) masa térmica interior.

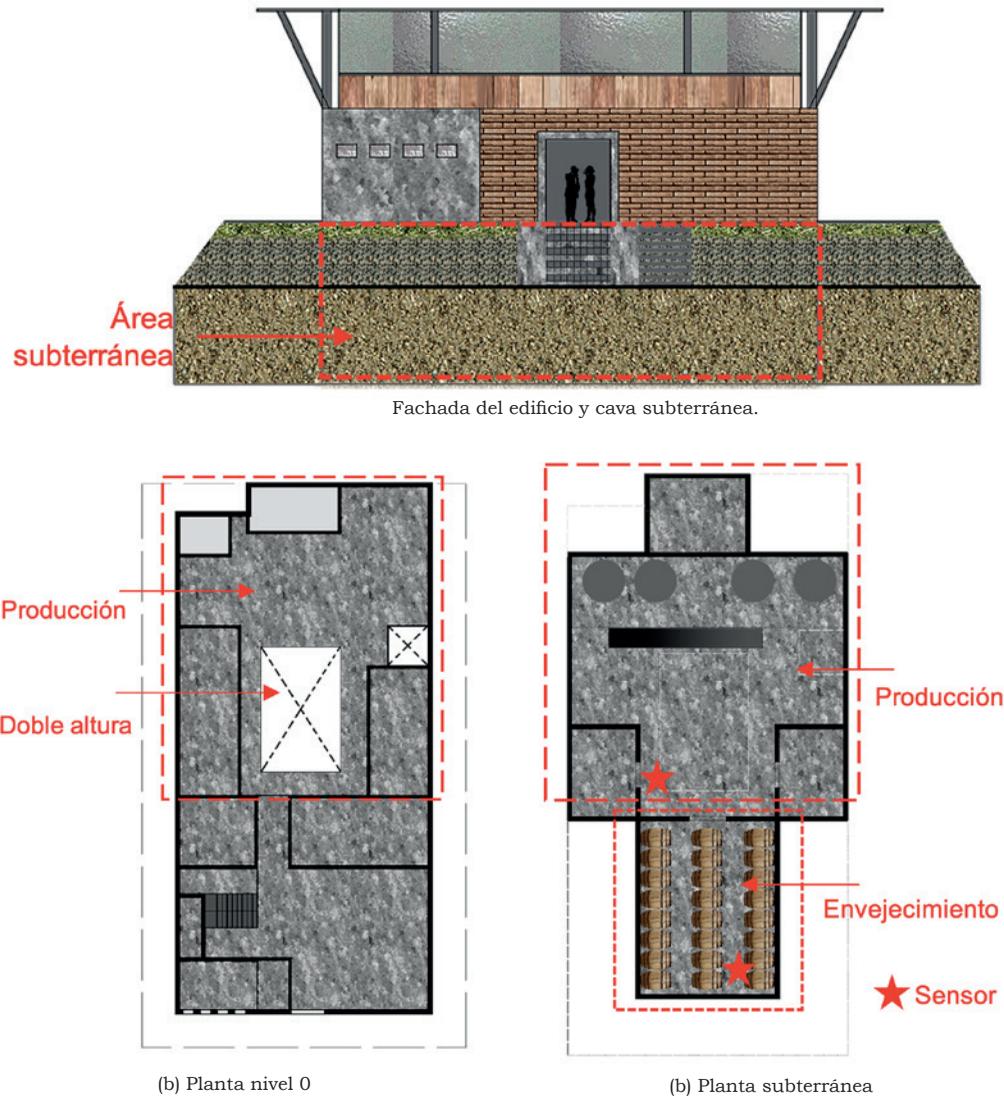
Los datos recopilados con las cédulas de caracterización permitieron definir que la mayor cantidad de cavas visitadas se ubicaron en el ejido El Porvenir, de las cuales siete son subterráneas. Se encontraron tres casos en los que no se permitió el acceso para monitoreo y en dos en los que el proceso de producción o envejecimiento se realizaba en otro sitio fuera del Valle de Guadalupe (Figura 1).

En la selección del caso de estudio, se consideraron los criterios siguientes: a) localización, que la cava se ubicara en el ejido con mayor cantidad de cavas subterráneas observadas; b) disponibilidad de instrumentación, limitante del estudio pues a partir de los instrumentos disponibles se decidió seleccionar una sola cava para monitoreo y c) disponibilidad y acceso para colocar sensores y realizar mediciones dentro y fuera del edificio.



**Figura 1.** Localización de vinícolas subterráneas visitadas en el Valle de Guadalupe. Fuente: Elaboración propia.

El caso de estudio se localiza en el ejido El Porvenir, a una altura de 327 MSNM y con producción anual de 270 hl (3 000 cajas de vino, considerada como cava de pequeña producción). La construcción es de tres niveles (Figura 2a), con orientación suroeste-noreste, el área de producción tiene una doble altura de 8.5 m, de los cuales 5 m son subterráneos (Figura 2b), mientras que el área de envejecimiento es completamente subterránea (Figura 2c). Los muros son de piedra y concreto con 0.25 m de espesor, los pisos de concreto y de tierra con gravilla y el techo de estructura metálica con concreto.



**Figura 2.** Alzado y distribución en planta de áreas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El edificio estudiado cuenta con sistemas electromecánicos de enfriamiento y humidificación en las dos áreas monitoreadas, controlados manualmente para su encendido y apagado. Por comunicación personal se obtuvo el dato de que en el área de envejecimiento no es necesario encender dichos sistemas activos, debido a que la temperatura interior para ellos es la adecuada para preservar el vino en las barricas.

## Monitoreo higrotérmico

Los instrumentos utilizados para medir temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de globo negro (TGN) y humedad relativa (HR) fueron registradores de datos, con sensores tipo transductor de cobre - constatan, para el sensor de TGN se colocó el sensor dentro de una esfera de 0.045 m de diámetro pintada de color negro mate. El sensor registrador de datos puede conectarse a una computadora por medio de un cable USB (*Universal Serial Bus*), lo cual permitió el encendido, la descarga y el procesamiento de los datos medidos. El rango de medición de temperatura de este tipo de sensores es de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de 5% a 95%, la precisión para medición de temperatura es de  $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$  de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  y para humedad relativa de  $\pm 2.5\%$  de 10% a 90% hasta un máximo de  $\pm 3.5\%$ .

Los sensores se colocaron en dos zonas interiores de la cava, en el área de producción, donde se encuentra la maquinaria y en la de envejecimiento, donde se ubican las barricas. La altura de colocación de los sensores en el área de envejecimiento fue de aproximadamente 1.20 m de altura, se tomó como referencia la altura a la que se encontraban las barricas (cuya altura es de 0.90 m y por lo general se apilan en tres líneas hacia arriba) y la ubicación estuvo condicionada a evitar la interrupción de las actividades diarias interiores (Figura 3).

Para el monitoreo del microclima se consideró lo siguiente:

- 1) Características del sitio, que se caracteriza por ser de tipo rural sin construcciones de más de tres niveles, topografía de hasta 500 MSNM y una altura promedio sobre el nivel del mar de 375 MSNM con cerros que rodean la zona y modifican la velocidad e intensidad del viento proveniente del mar;
- 2) Instrumentación, referente a la cantidad disponible de estaciones meteorológicas;
- 3) Disponibilidad para el acceso y colocación de la instrumentación y seguridad del equipo;
- 4) Diseño de una estructura para soporte de instrumentación;
- 5) Calibración de sensores;
- 6) Colocación de instrumentación;
- y 7) Pruebas en el registro de datos.

En la zona de estudio se colocó una estación meteorológica con sensores de presión atmosférica, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento (Figura 3). Para la ubicación de la estación meteorológica se consideraron los criterios de emplazamiento que menciona la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en la Guía de prácticas climatológicas (2011).



**Figura 3.** Izquierda: Sensores para mediciones de TBS, HR y TGN y derecha: Estación meteorológica. Fuente: Fotos del autor (2017).

Para evitar la afectación por sombra de vientos se colocó la estación a 100 m de distancia de la cava de vino (más de 10 veces la altura del edificio), a una altura de 3.30 m en relación con el nivel natural del terreno que se consideró llano, con vegetación escasa y en una zona que no afectara las actividades diarias de la vinícola.

La frecuencia de registro de datos fue de 15 minutos, que se definió a partir de los resultados observados en un periodo de prueba de 15 días, lo anterior permitió programar las visitas para mantenimiento y descarga de datos cada 30 días.

### **Análisis de datos**

Los datos obtenidos con el monitoreo interior y exterior se analizaron a partir de una comparación de promedios diarios para para los meses del periodo cálido (mayo, junio, julio y agosto). En este trabajo se analizarán los datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, la temperatura de globo negro así como la tem-

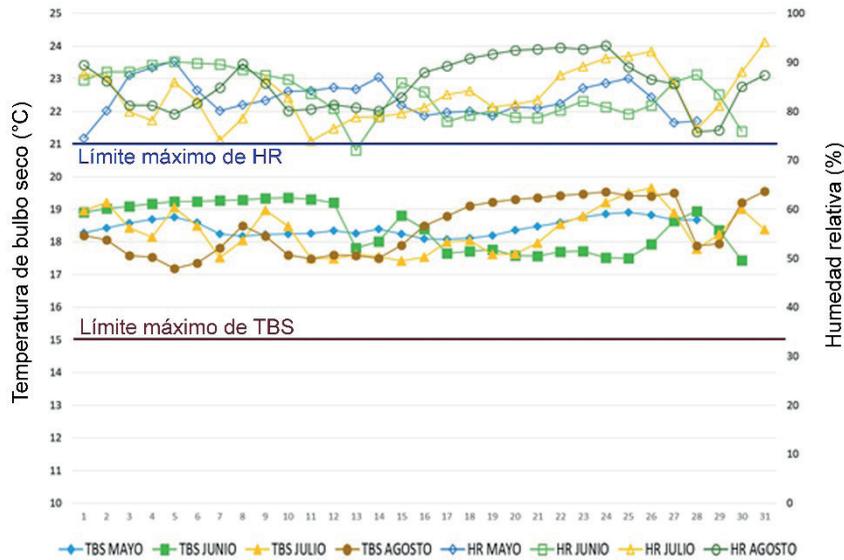
peratura absoluta se pretenden presentar en trabajos posteriores. Se realizó un estudio del efecto de las condiciones del ambiente exterior sobre las condiciones interiores, se analizaron las variaciones higrótérmicas con el objetivo de conocer si se cumplió o no con los rangos óptimos ambientales interiores definidos para las áreas de producción y de barricas.

## **Resultados**

Los resultados incluyeron las secciones siguientes: 1) Área de envejecimiento, donde se muestra la comparación exterior-interior de temperatura de bulbo seco (TBS) y humedad relativa (HR) para todo el periodo cálido y para el mes de agosto, donde se registraron las temperaturas máximas por lo que se consideró crítico. 2) Área de producción, comparación exterior-interior de TBS y HR para todo el periodo y para el mes de agosto. 3) TBS área de barricas, donde se muestra la comparación de TBS exterior con TBS interior del área de barricas para todo el periodo cálido, esto debido a la importancia de este proceso de preservación que requiere mayor control de las condiciones ambientales. En total se presentan en este apartado cinco gráficas de análisis de resultados.

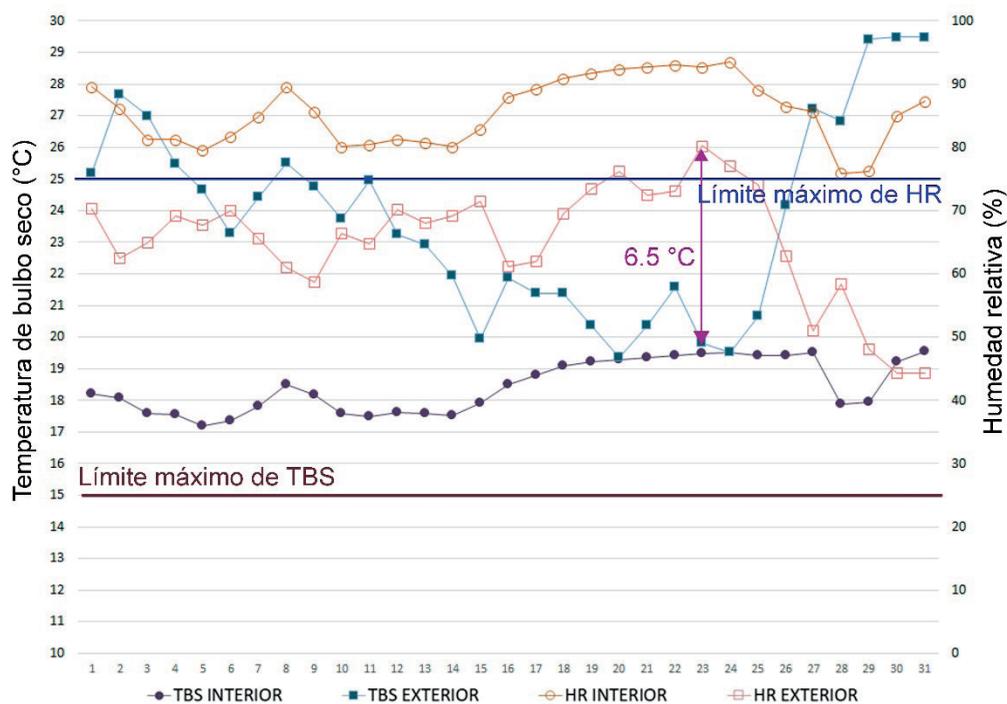
### **Área de envejecimiento**

La Figura 4 muestra un comparativo de los datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, de todos los meses del periodo estudiado para el área de las barricas. Ninguno de los meses las condiciones medidas cumplen con los rangos teóricos definidos como óptimos para el envejecimiento y preservación del vino. Sin embargo, se cumple con el límite máximo aceptable de TBS de hasta 20 °C que mencionan Mazarrón y Cañas (2008).



**Figura 4.** Comparación de TBS y HR exterior e interior del área de envejecimiento. Período cálido. Fuente: Elaboración propia.

En el mes crítico del periodo (agosto), la TBS y la HR del interior se ubican fuera del rango teórico óptimo (10 °C - 15 °C y 30% a 75%, respectivamente). Se observaron también valores más altos de humedad relativa interior en comparación con el exterior, debido a la falta de ventilación natural, el uso de sistemas electro-mecánicos de humidificación y el sellado del espacio (Figura 5).

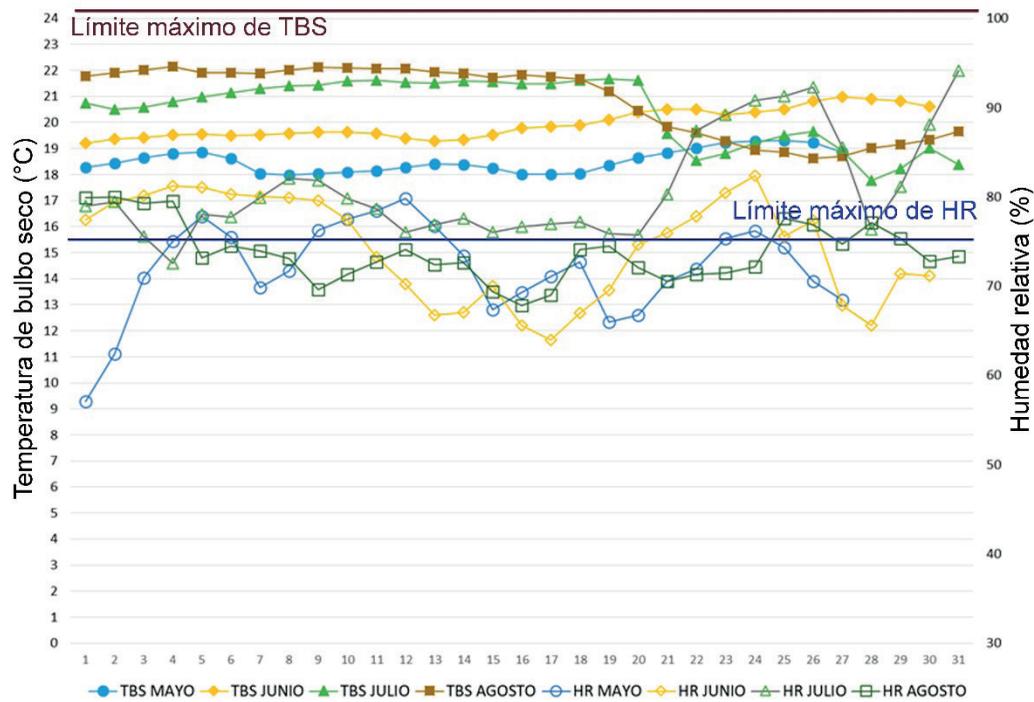


**Figura 5.** Comparación de TBS y HR exterior e interior del área de envejecimiento en el mes de agosto. Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que los límites establecidos son resultado estricto de una revisión teórica de trabajos especializados, se obtuvo el promedio de los valores mencionados por autores diversos para definir límites máximos y mínimos. Estos rangos también pueden quedar a criterio de los productores y enólogos según el resultado y calidad que se quiera obtener. Sin embargo, no se puede negar la diferencia entre el interior de esta área que es completamente subterránea con las condiciones exteriores, que puede ser de hasta 6.5 °C en el mes crítico.

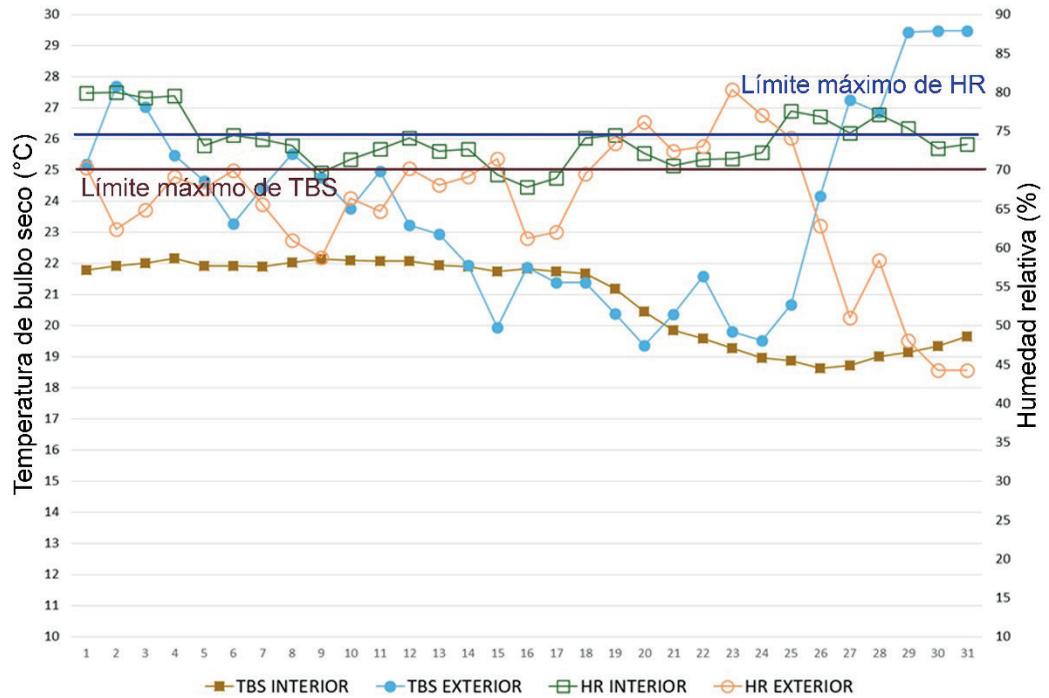
### Área de producción

En el área de producción todos los meses del periodo cálido se ubican dentro del rango óptimo de temperatura (15 °C - 25 °C). En cuanto a la humedad relativa los valores registrados alcanzan el 90%, 15 puntos porcentuales por encima del límite máximo, en el mes de junio (Figura 6).



**Figura 6.** Comparación de TBS y HR exterior e interior del área de producción. Periodo cálido. Fuente: Elaboración propia.

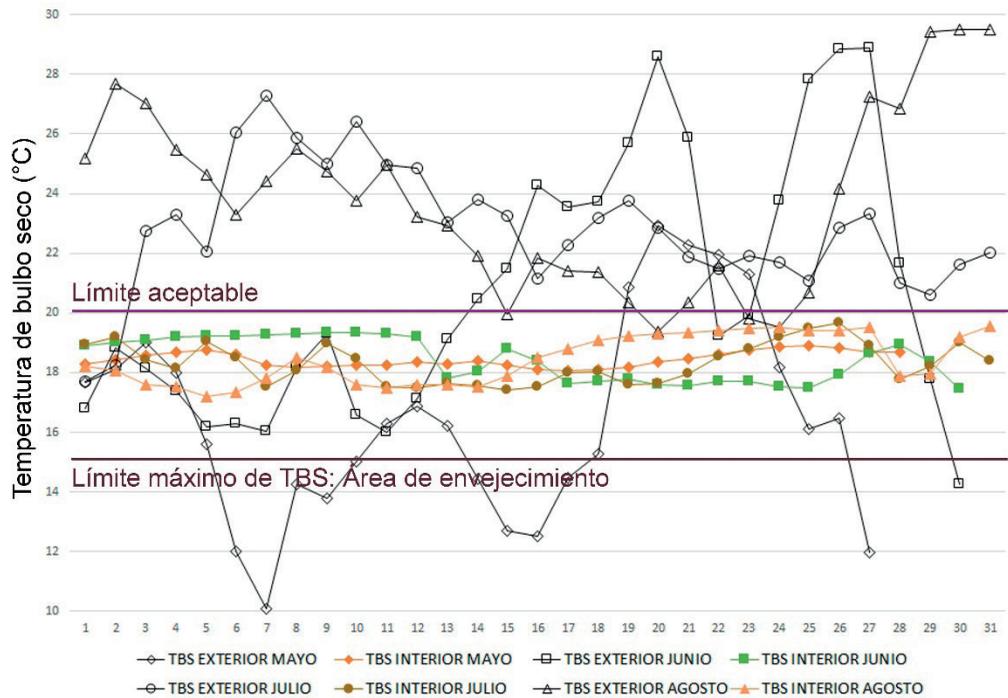
En el mes de agosto, se puede observar que la TBS interior se mantuvo dentro del rango óptimo establecido a diferencia de la TBS del exterior que presentó mayor oscilación y días por encima del límite máximo. Algunos días al inicio y término de este mes la humedad relativa interior se ubicó por encima del rango de humedad relativa aunque con mayor estabilidad en comparación con el exterior (Figura 7).



**Figura 7.** Comparación de TBS y HR exterior e interior del área de producción en el mes de agosto. Fuente: Elaboración propia.

### Temperatura de bulbo seco: área de envejecimiento

La Figura 8 muestra la comparación de los datos obtenidos de TBS con el monitoreo interior en el área de barricas y del exterior, en los cuatro meses del periodo cálido. Se puede observar la oscilación de la temperatura exterior que disminuye en gran medida en el interior. En el mes de mayo la diferencia entre el valor máximo y mínimo registrado en el exterior fue de hasta 13 °C, mientras que en el interior en ese mismo mes la oscilación máxima fue de 1 °C, esto debido al amortiguamiento térmico del subsuelo.



**Figura 8.** Comparación de TBS exterior e interior del área de barricas. Período cálido.

Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades termofísicas del subsuelo se reflejan en los datos obtenidos con el monitoreo de TBS y HR del interior, por ello muchos edificios destinados a la preservación de alimentos optan por una ubicación constructiva subterránea, que permita disminuir el tiempo de uso de sistemas activos.

## Conclusiones

La diferencia registrada entre las condiciones de temperatura de bulbo seco (TBS) exterior, en comparación con las condiciones interiores mostraron que la cava de estudio presentó un desempeño higrotérmico estable con menores oscilaciones, lo que es benéfico para el vino al evitar la aceleración del proceso de transformación o envejecimiento.

La humedad relativa (HR) interior mostró valores por encima del rango óptimo en el área de barricas debido a la falta de ventilación natural y mecánica del espacio así como el sellado del área que evita la infiltración y aumenta la HR. La conclusión principal del presente trabajo fue que el monitoreo higrotérmico interior

realizado permitió demostrar las ventajas de una cava de vino subterránea para disminuir y retardar el efecto de la temperatura del exterior en el interior.

El monitoreo de variables meteorológicas es una actividad básica, didáctica y reproducible que permite la validación por medio de la comparación experimental con simuladores diversos. Se recomienda de ser posible el monitoreo higrotérmico por zonas térmicas y no considerar una sola medición, que la mayoría de las veces se realiza al centro geométrico del espacio, especialmente tener en cuenta que para las cavas de vino donde los procesos y la masa térmica interior son diversos se necesita el registro de más de un punto de referencia.

Este trabajo forma parte de una investigación de doctorado cuyo principal objetivo es demostrar el potencial de estrategias bioclimáticas al aplicarse en cavas de vino, para disminuir el uso de sistemas electromecánicos de enfriamiento.

## **Agradecimientos**

Al doctor Víctor Torres Alegre e Ing. Aimé Desponds, por todo el apoyo brindado para la realización de este estudio. Al doctor Julio Rincón Martínez, doctor Marco González Trevizo, maestro en arquitectura Daniel Olvera García, doctor Rafael García Cueto, por todo su apoyo en el proceso de instalación en campo. Al Instituto de Ingeniería y Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California por el préstamo de instrumentos de medición. A la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima por el apoyo en los estudios de Doctorado de la maestra en arquitectura Verónica Jiménez López.

## **Referencias**

- Barbaresi, A., Torregiani, D., Benni, S. y Tassinari, P. (2014). "Underground cellar thermal simulation: Definition of a method formodelling performance assessment based on experimental calibration". *Energy and Buildings*. 76: 363-372.
- Boulton, R. B., Singleton, V. L., Bisson, L. F. y Kunkee, R. E. (1995). "Teoría y práctica de la elaboración del vino". Editorial: Acibia S. A. Zaragoza, España, pp. 636.
- Calderón, C., Baeza, O y Bojórquez, G. (2014). "Evaluación higrotérmica invernal de una cava de vino en el Valle de

- Guadalupe, Baja California, México”. La cultura científica en la Arquitectura. Patrimonio, Ciudad y Medio ambiente. Universidad Autónoma de Aguascalientes, pp. 355-366.
- Cavazos, M.T. (2012). “Situación actual y bajo escenarios de cambio climático de la industria vitivinícola de Baja California, México”. Departamento de Oceanografía Física, CICESE. Baja California, pp. 76.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). “Normales climatológicas”. <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=bc>. 2016. 30 de abril de 2017.
- Considine, J. A. y Frankish, E. (2014). “A complete guide to quality in small-scale wine making”, pp. 224. ISBN: 9780124080812.
- Cooke, G. y Lapsley, J. “Making Wine”. (1988). pp. 3-44.
- Eisenman, L. “The home winemakers manual”. (1998). p. 174.
- García, E. (1964). “Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana”. Ed. 5. Universidad Nacional Autónoma de México, p. 90.
- Hidalgo, J. (2003). “Tratado de Enología (Treatise of Enology)”, Ediciones Mundi - Prensa, Madrid, España.
- ISO 7726 (2012) [1998]. Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities, Ginebra, Suiza. Recuperado en Nov 2017 de: <https://www.iso.org/standard/14562.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). “Topografía”. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/>. 05 de mayo de 2017.
- Mazarrón, F. y Cañas, I. (2009). “Seasonal analysis of the thermal behaviour of traditional underground wine cellars in Spain”. *Renewable Energy*. 34: 2484-2492.
- Mazarrón, F., Cid - Falceto, J. y Cañas, I. (2012). “An assessment of using ground thermal inertia as passive thermal technique in the wine industry around the world”. *Applied Thermal Engineering*. 33-34: 54-61.
- Organización Meteorológica Mundial. “Guía de prácticas climatológicas”. OMM-N°100. 2011. Consultado el 09 de abril de 2017 en: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo\\_100\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf).
- Ramos - Sanz, A. y Blasco - Lucas, I. (2011). “Condiciones higrotérmicas de fermentación de vinos comunes y finos de variedades blancas y tintas”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 15. Argentina. ISSN 0329-5184. 2011.

- Sáez, P. (2011). "Condiciones ambientales en las bodegas". <http://urbinavinos.blogspot.mx/2011/12/condiciones-ambientales-en-las-bodegas.html>. 14 de marzo de 2017.
- Sánchez - Medrano, F. J. (2003). "Arquitecturas vinícolas". Congreso sobre Etnoarqueología del vino. Murcia: Universidad de Murcia, pp. 395-412.
- Tinti, F., Barbaresi, A. Benni, S. Torregiani, D., Bruno, R. y Tassinari, P. (2014). "Experimental analysis of shallow underground temperature for the assessment of energy efficiency potential of underground wine cellars". *Energy and Buildings*. 80: 451-460.

