

Análisis del desempeño higrotérmico de cava de vino subterránea

Analysis of thermal performance of underground wine cellar

JIMÉNEZ-LÓPEZ, Verónica†*, GÓMEZ-AMADOR, Adolfo, BENNI, Stefano y BOJÓRQUEZ-MORALES, Gonzalo

Universidad de Colima, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura.

ID 1^{er} Autor: *Verónica, Jiménez-López/ ORC ID: 0000-0003-1564-1479, CVU CONACYT ID: 399944*

ID 1^{er} Coautor: *Adolfo, Gómez-Amador/ ORC ID: 0000-0002-1071-0861*

ID 2^{do} Coautor: *Stefano, Benni/ ORC ID: 0000-0002-1425-172X*

ID 3^{er} Coautor: *Gonzalo, Bojórquez-Morales/ ORC ID: 0000-0001-9303-9278, Researcher ID Thomson: C-8687-2018, CVU CONACYT ID: 79645*

Recibido 19 de Octubre, 2018; Aceptado 15 de Noviembre, 2018

Resumen

El control de la temperatura es fundamental para el envejecimiento del vino, lo que representa mayor tiempo de uso de sistemas electromecánicos para enfriamiento y humidificación interior, que incrementa el costo operativo de las cavas de vino. Los edificios subterráneos representan una solución constructiva para maximizar el desempeño térmico y la eficiencia energética, al utilizar las propiedades termofísicas del subsuelo para la reducción de la oscilación de la temperatura interior, sin embargo, dicho efecto dependerá de las características del edificio y del lugar de estudio. El objetivo del presente trabajo fue analizar el desempeño higrotérmico de una cava de vino subterránea ubicada en el Valle de Guadalupe, México, con datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, obtenidos por monitoreo durante 1 año. De manera asincrónica se midieron las condiciones del exterior con una estación meteorológica. Para el análisis se consideraron rangos teóricos de temperatura y humedad óptimos para envejecimiento del vino con base en autores líderes en el tema. Los resultados mostraron el efecto del subsuelo y de las variaciones meteorológicas del exterior sobre las condiciones interiores para el periodo frío (diciembre a febrero) y el periodo cálido (junio a septiembre).

Monitoreo higrotérmico, Cava de vino, Desempeño higrotérmico

Abstract

Temperature control is fundamental for the aging of wine, which requires more time of use of electromechanical systems for interior cooling and humidification that increases the operative cost of wine cellars. The underground buildings represent a constructive solution to maximize the thermal performance and energy efficiency, by using the thermophysical properties of the subsoil for the reduction of the interior temperature, however, this effect depends on the characteristics of the building and the study site. The main objective of the present work was to analyze the hygrothermal performance of an underground wine cellar in Guadalupe Valley Mexico, using data of dry bulb temperatura and relative humidity monitored for 1 year. The conditions of the external microclimate were measured asynchronously with a weather station. For the analysis, theoretical ranges of optimum temperature and humidity for wine aging are considered, based on literature of leading authors. The results show the effect of the subsoil and the meteorological variations of the exterior on the interior conditions for the cold period (December to February) and the warm period (June to September).

Hygrothermal monitoring, Wine cellar, Hygrothermal performance

Citación JIMÉNEZ-LÓPEZ, Verónica, GÓMEZ-AMADOR, Adolfo, BENNI, Stefano y BOJÓRQUEZ-MORALES, Gonzalo. Análisis del desempeño higrotérmico de cava de vino subterránea. *Revista de Sistemas Experimentales* 2018, 5-17: 10-17

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: vjimenez0@ucol.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las cavas de vino requieren espacios interiores con condiciones controladas de temperatura y humedad para la conservación y envejecimiento del vino (Considine y Frankish, 2014), para lograrlo es necesario el uso de sistemas electromecánicos de enfriamiento que representan altos consumos de energía eléctrica, sobre todo en periodos cálidos.

El control de las condiciones ambientales interiores es un problema común en la industria vinícola y otros sectores de la agroindustria donde la producción y almacenamiento requiere el uso de sistemas electromecánicos de enfriamiento, para lograr rangos adecuados de temperatura y humedad que aseguren la calidad del producto final.

La revisión de trabajos diversos sugiere un rango de temperatura de bulbo seco de 10 °C a 20 °C (algunos autores consideran un límite más estricto con un mínimo de 8 °C y un máximo de 15 °C) y humedad relativa de 30% a 75% para el envejecimiento del vino (Tinti et al., 2014), sobrepasar los límites anteriores puede afectar el proceso de fermentación, ocasionar la pérdida del vino dentro de las barricas o propiciar la aparición de moho (Ocón, et al., 2011).

Los edificios subterráneos son una opción constructiva para reducir la demanda de energía en comparación con los edificios convencionales construidos sobre el nivel natural del terreno, lo anterior, debido a las propiedades termofísicas del subsuelo que disminuyen la oscilación de la temperatura.

En un sentido histórico, en Georgia el país más antiguo en producción de vino, antes de la era cristiana los Marani eran espacios donde se almacenaba el vino en ollas de barro llamadas qvevris, las cuales se enterraban para su conservación (Barisashvili, 2011).

En la región central de España, las cavas de vino tradicionales son construcciones vernaculas subterráneas, que tienen consumos mínimos de agua y electricidad, debido a la estabilidad higrotérmica de las condiciones interiores en comparación con el exterior no es necesario el uso de sistemas electromecánicos de enfriamiento para conservar el vino (Mazarrón, Cid-Falceto y Cañas, 2012).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el desempeño higrotérmico del área de envejecimiento subterránea de una cava de vino, a partir de datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa obtenidos con mediciones realizadas en el interior y exterior, en dos periodos de estudio, frío (diciembre a febrero) y cálido (junio a septiembre).

Materiales y métodos

El diseño metodológico de la investigación incluyó la 1. Caracterización de la zona de estudio y la cava de vino monitoreada, 2. La descripción del monitoreo interior y exterior, así como 3. El método de análisis de los datos obtenidos.

Área y cava de vino estudiada

El Valle de Guadalupe se ubica al Noroeste de México (32°05'47" N y 116°34'21" O), en el Municipio de Ensenada, Baja California, a 100 kilómetros de distancia con la frontera Suroeste de Estados Unidos, dentro de los paralelos 30° y 50° Norte, reconocidos como las franjas geográficas de producción mundial del vino (Figura 1).

La topografía del Valle de Guadalupe oscila entre los 250 y 500 MSNM (metros sobre el nivel del mar), con una altura promedio de 375 MSNM, se estima que la sierra que rodea a la zona tiene una altura máxima de 1,050 MSNM (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016.). La brisa proveniente del océano pacífico le proporciona al Valle características climáticas de tipo mediterráneo, lo cual permite el crecimiento de ciertos varietales de uva en la región.



Figura 1 Ubicación geográfica del Valle de Guadalupe

Fuente: Elaboración Propia

En el Valle de Guadalupe se produce el 90% del vino mexicano, por lo que es la región vitivinícola de mayor importancia en el país (Cavazos, 2012). Se tiene el registro de más de 80 casas vinícolas distribuidas en las tres delegaciones que componen a la zona de estudio, Francisco Zarco, San Antonio de las Minas y El Porvenir, de las cavas existentes más del 75% son de producción artesanal, es decir, empresas pequeñas enfocadas en la elaboración de vino con procesos y técnicas tradicionales con menos de 900 hl de vino producido al año (10,000 cajas de vino).

La cava de vino estudiada se localizó en el Ejido El Porvenir, donde se concentra el 47% de las cavas productoras de vino artesanal (Dato obtenido por recorridos en la zona durante el año 2017). El edificio se ubica a una altura de 327 MSNM y tiene una producción anual de 270 hl (3,000 cajas de vino). La fachada principal tiene orientación suroeste, es una construcción de planta arquitectónica rectangular, de tres niveles, de los cuáles uno es subterráneo con una altura total de 5 m. Los muros subterráneos son de dos materiales, 3 m de mampostería de piedra y 2 m de bloques de concreto, techos de estructura metálica y pisos de firme de concreto (Figura 2 y 3).

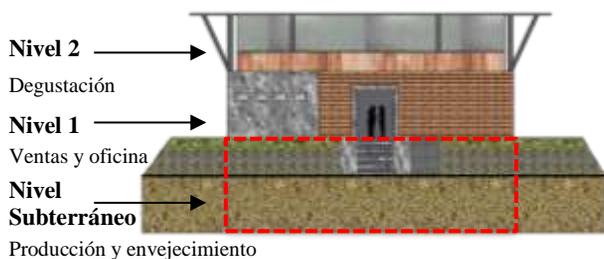


Figura 2 Esquema de la fachada de cava de vino de estudio
Fuente: *Elaboración Propia*

El tipo y distribución de los espacios del edificio vinícola estudiado coincide con el ideal para elaboración del vino mencionado por algunos autores (Sánchez-Medrano, 2003 y Torregiani et al., 2011). Se identificaron dos áreas interiores principales en el nivel subterráneo, una para producción y otra para envejecimiento del vino (Figura 3). La cava cuenta con sistemas activos de enfriamiento y humidificación en el área donde se ubican las barricas para envejecimiento del producto.



Figura 3 Nivel subterráneo. Izquierda: Área de envejecimiento y derecha: Área de producción
Fuente: *Jiménez (2016)*

Monitoreo higrotérmico

El objetivo principal del proceso de monitoreo fue conocer el comportamiento de las condiciones higrotérmicas dentro de la cava de vino durante un año. En el monitoreo interior se consideraron siete aspectos: 1) Espacios fundamentales de una cava de vino, 2) Selección de instrumentación disponible, de fácil transportación y colocación, 3) Ubicación de sensores en el interior de la cava, 4) Frecuencias de registro de datos, 5) Calibración de sensores y 7) Zonas de colocación de sensores.

En el interior se utilizaron registradores de datos (*data logger*) con sensores tipo transductor de cobre constatan con dos salidas externas, para medir temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de globo negro (TGN) y humedad relativa (HR), se tomó en cuenta la norma ASTM C 1046-95. El rango de medición de temperatura de los sensores utilizados fue de -20°C a 70°C y humedad relativa de 5% a 95%, la precisión para medición de temperatura fue de $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0°C a 50°C y para humedad relativa de $\pm 2.5\%$ de 10% a 90% hasta un máximo de $\pm 3.5\%$, la resolución de 0.03°C para temperatura y 0.05% para humedad relativa.

Las mediciones se realizaron para el área de producción donde se ubica la maquinaria y se llevan a cabo los procesos de elaboración del vino, y en el área de envejecimiento donde el vino se almacena en barricas (Figura 4). En el presente trabajo se exponen los resultados del área de envejecimiento solamente.

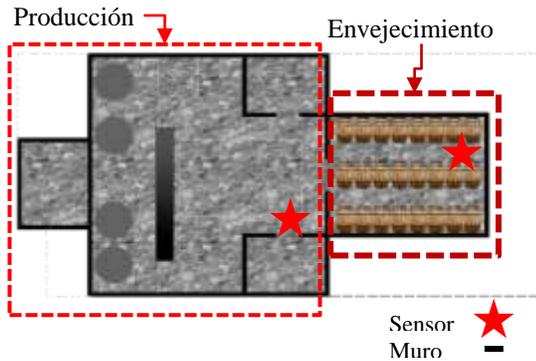


Figura 4 Planta arquitectónica de ubicación de sensores en interior del nivel subterráneo

Fuente: *Elaboración Propia*

La altura de colocación de los sensores en el interior fue de aproximadamente 1.20 m, se tomó como referencia la altura promedio en la que se encontraban las barricas y la ubicación estuvo condicionada a evitar la interrupción de las actividades diarias realizadas en el área.

En el exterior se colocó una micro estación meteorológica con sensores para medición de presión atmosférica, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento. La ubicación se definió a partir de los criterios de emplazamiento que menciona la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en la guía de prácticas climatológicas (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

Se realizaron mediciones de prueba con la intención de establecer frecuencias de registro de datos y visitas para mantenimiento y descarga de datos. En el interior fue de 15 minutos y de 30 minutos en el exterior, lo que permitió la descarga de datos cada 30 días.

Análisis de datos

Con los datos registrados se estimaron promedios horarios de dos variables: 1) Temperatura: 1.a. Temperatura de bulbo seco exterior (micro estación meteorológica), 1.b. Temperatura de bulbo seco interior (área de envejecimiento) y 2) Humedad relativa: 2.a. Humedad relativa exterior (micro estación meteorológica), 2.b. Humedad relativa interior (área de envejecimiento).

Se analizó el efecto de las condiciones exteriores sobre el ambiente higrotérmico interior, a partir del cálculo de porcentajes de diferencia de incremento, para lo que se utilizó la ecuación siguiente:

$$\% \text{ dif} = \frac{\text{valor mayor} - \text{valor menor}}{\text{valor menor}} \times 100 \quad (1)$$

En la comparación de los datos obtenidos, se utilizaron como referencia los rangos óptimos de temperatura ambiente interior (10 °C a 20 °C) y humedad relativa (30% a 75%) para envejecimiento del vino, obtenidos a partir de la revisión teórica de autores diversos (Tabla 1).

Autor de referencia	Temperatura de bulbo seco (°C)	Humedad relativa (%)
Mazarrón y Cañas (2008)	≤ 18	70%
Steiner (2010)	13 – 20	40% - 60%
Ramos y Blasco (2011)	18 – 20 para vinos blancos.	30% – 75%
Bondiac, citado en Barbaresi, et al. (2014)	10 – 12	--
Marescalchi, citado en Barbaresi, et al. (2014)	15 – 20	--
Marrara et al. (2014)	12 – 16	--
Considine y Frankish (2014)	≤ 20 para vinos tintos y < 16 para vinos blancos.	--
Tinti et al. (2014)	--	≥ 70%

Tabla 1 Temperatura ambiente interior óptima para el área de envejecimiento en una cava de vino

Fuente: *Elaboración Propia a partir de Mazarrón y Cañas (2008), Steiner (2010), Ramos - Sanz y Blasco – Lucas (2011), Barbaresi et al. (2014), Considine y Frankish (2014), Marrara et al. (2014) y Tinti et al. (2014)*

Resultados

En el periodo frío (diciembre a febrero) se observó que la temperatura de bulbo seco interior (TBSi) se ubicó dentro del rango óptimo para envejecimiento del vino (10 °C a 20 °C). La oscilación máxima registrada en la TBSi fue de 2.1 °C, el valor máximo se registró en diciembre mientras que el mínimo en enero (Figura 5).

Al realizar un comparativo de valores máximos y mínimos registrados dentro y fuera de la cava de vino, la máxima temperatura de bulbo seco exterior (TBSe) fue 71.8% mayor en comparación con la TBSi máxima registrada. La TBSi mínima fue 45% mayor en comparación con la TBSe (Figura 5). En el exterior la oscilación máxima de temperatura fue de más de 28 °C y se presentó en el mes de febrero (Figura 5).

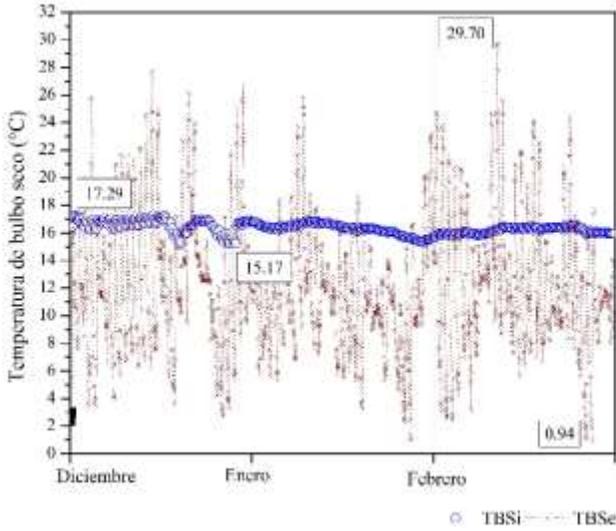


Figura 5 Comparativo de temperatura de bulbo seco interior con el exterior. Periodo frío
 Fuente: Elaboración Propia

La humedad relativa interior (HRI) registrada durante el periodo frío se ubicó dentro del rango óptimo de 30% a 75%, solo durante el mes de diciembre. A partir del mes de enero la HRI estuvo por encima del límite máximo establecido y se registró un valor máximo de 98.7% en el mes de febrero, mientras que el mínimo fue de 32.8% en diciembre. Por lo anterior, la oscilación máxima registrada en el periodo para la HRI fue de 65.9% (Figura 6).

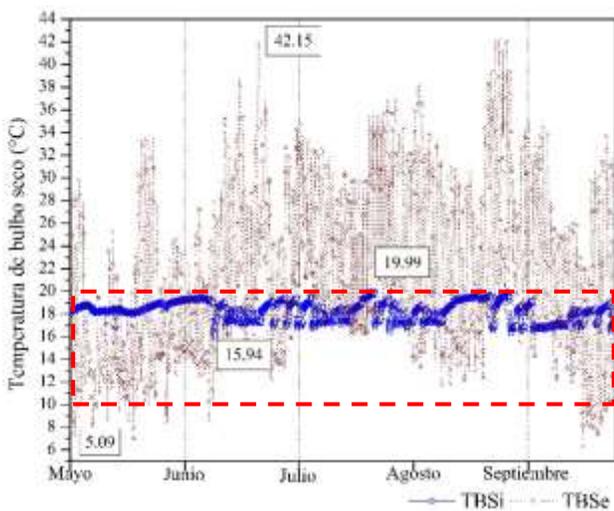


Figura 6 Comparativo de humedad relativa interior y exterior. Periodo frío
 Fuente: Elaboración Propia

En el exterior, la humedad relativa (HRe) máxima registrada fue de 100%, valor que se registró en los tres meses del periodo, mientras que la mínima fue de 6.4% y que se presentó en el mes de diciembre (Figura 6).

En el periodo cálido (mayo a septiembre) los resultados obtenidos con el monitoreo mostraron valores dentro del rango óptimo para envejecimiento del vino en barricas. El valor máximo de TBSi registrado fue de 19.9 °C en el mes de julio y agosto, mientras que la mínima TBSi fue de 15.94 °C en el mes de junio, una oscilación máxima de 4 °C durante el periodo (Figura 7).

La TBSe máxima registrada fue de 42.2 °C en el mes de junio y la mínima de 5.1 °C en mayo, es decir, la oscilación máxima de la temperatura en el exterior fue de 37 °C. Al comparar exterior contra interior, la TBSe máxima registrada fue 111% mayor en comparación con el valor máximo obtenido de TBSi. En cuanto a valores mínimos, la diferencia fue 213% mayor dentro de la cava en comparación con los datos de TBSe (Figura 7).

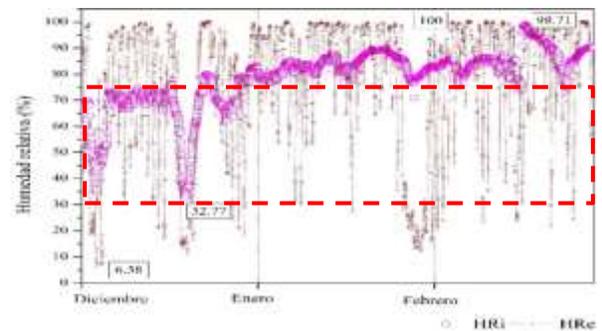


Figura 7 Comparativo de temperatura de bulbo seco interior y exterior. Periodo cálido
 Fuente: Elaboración Propia

En relación con la HRI, la mayor parte de las horas del periodo cálido se obtuvieron valores por encima del límite máximo de 75%. La oscilación máxima de la HRI fue de hasta 36%, lo cual indicó caídas significativas en la cantidad de vapor de agua contenida en el ambiente, principalmente durante la noche (Figura 8). La HRI máxima registrada fue de 100% y se registró en el mes de agosto, mientras que la mínima registrada en el interior fue de 63.8%.

En el exterior, los valores máximos de HRe se presentaron durante el mes de mayo y fueron de hasta 100%, dicho fenómeno se registró a partir de las 12 pm hasta las 3 am, mientras que la mínima HRe fue de 7.4%, valor obtenido durante el mes de mayo también y principalmente durante las horas de 8 a 11 a.m. La oscilación máxima de la HRe fue de hasta 65% (Figura 8).

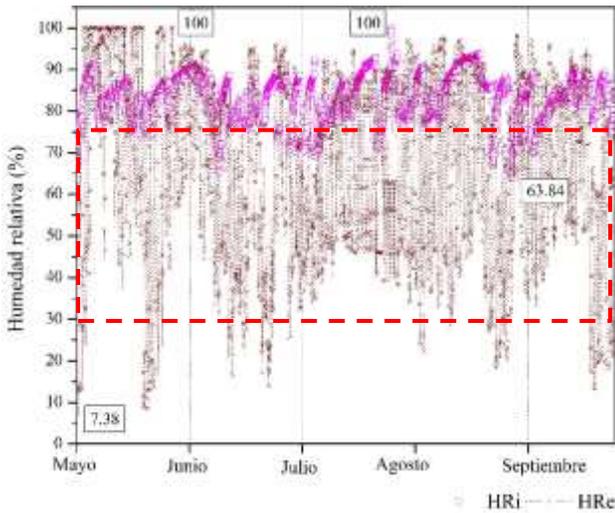


Figura 8 Comparativo de humedad relativa interior y exterior. Periodo cálido
Fuente: *Elaboración Propia*

El mes de agosto fue el mes crítico del periodo cálido debido a que se registraron las TBSi promedio horarias máximas diarias de todo el año. Al realizar un análisis solo del día que registró las máximas promedio horarias, la oscilación de la temperatura interior en comparación con el exterior fue de 19.7 °C (Figura 9).

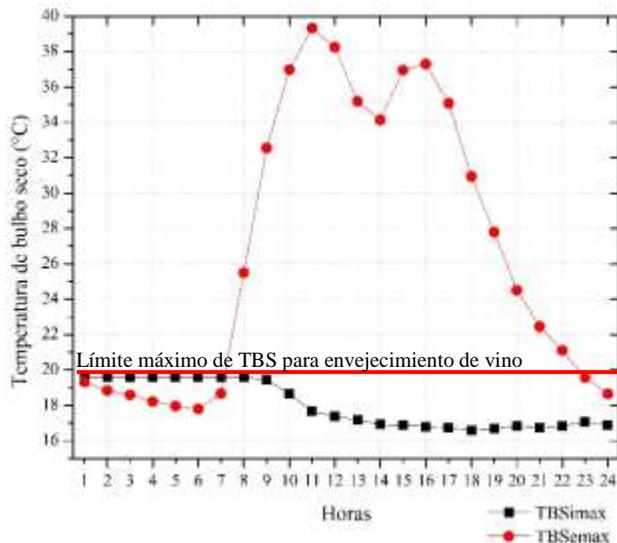


Figura 9 Día de TBS horaria máxima promedio interior. 28 de agosto 2017
Fuente: *Elaboración propia*

En el día crítico analizado en la Figura 9, es importante destacar que en ningún momento del año se sobrepasó el límite de temperatura máximo establecido para envejecimiento del vino (20 °C).

Conclusiones

Los resultados permiten concluir que, en los dos periodos estudiados, la temperatura de bulbo seco interior (TBSi) se mantuvo por debajo de los 20 °C, límite teórico máximo definido como óptimo para envejecimiento del vino (Figuras 5 y 7).

En el Valle de Guadalupe, durante el periodo frío la oscilación de la temperatura exterior fue de 28.7 °C, en el interior dicha variación fue de 2.1 °C. Mientras que en el periodo cálido la oscilación exterior fue de 21.3 °C y en el interior de 4.05 °C. Los datos anteriores muestran que la temperatura exterior tiene poca influencia en las oscilaciones del interior y que concuerda con los resultados obtenidos en trabajos similares previos (Martín y Cañas, 2005). Esto se debió al efecto de la masa térmica que rodea a la envolvente del nivel subterráneo.

También se observó que los datos medidos en el periodo cálido tuvieron mayor oscilación entre la máxima y la mínima diaria, debido a que durante los meses de mayo a octubre en el interior de la cava se utilizaron sistemas electromecánicos para el enfriamiento y humidificación de la zona, por lo que la TBSi se matuvo estable durante el día y se registraron aumentos de temperatura durante la noche, aunque no significativos.

El uso de pulverizadores de agua para humidificación durante el periodo cálido se reflejó en los datos obtenidos de humedad relativa, los valores aumentaron durante el día a partir de las 10 a.m y disminuyeron a partir de las 11 p.m.

La refrigeración y humidificación activa en el interior no permitió registrar los valores de TBSi y HRI producto del efecto de la envolvente del edificio durante el periodo cálido, sin embargo, en el periodo frío se observó un desempeño higrotérmico interior apto para el almacenamiento y envejecimiento del vino, lo que demuestra las ventajas térmicas de los edificios subterráneos (Mazarrón y Cañas, 2009.).

El objetivo principal de este trabajo de investigación fue analizar el desempeño higrotérmico de una cava subterránea, donde se almacena y envejece el vino, con la intención de llenar un vacío en la información local sobre los edificios vinícolas y la efectividad de las construcciones subterráneas a partir del monitoreo de las condiciones higrotérmicas interiores, donde el único antecedente realizado en una zona próxima al Valle de Guadalupe, es el trabajo de Calderón et al., (2015), pero que no aborda el beneficio del subsuelo como estrategia de diseño pasivo para regular las condiciones térmicas interiores.

Los resultados obtenidos pueden ser útiles para el diseño de edificios dedicados a la agroindustria, a la producción de cerveza artesanal, aceite de oliva o queso, que requieren del control de las condiciones de temperatura y humedad para su elaboración.

De manera asincrónica se realizaron mediciones de temperatura de globo negro en el interior de dos cavas de vino, para observar el efecto de radiación de las barricas hacia el ambiente, así como mediciones de la temperatura del subsuelo a diferentes profundidades con la intención de analizar el efecto de las propiedades termofísicas del terreno, en la oscilación de las temperaturas interiores en cavas subterráneas, dichos resultados se publicarán en trabajos posteriores.

Agradecimientos

A Dr. Marcos E. González Trevizo, Dr. Julio C. Rincón Martínez, Dr. Daniel A. Olvera García, por su apoyo en el montaje de sensores para monitoreo higrotérmico. A Dr. ZBJ por sus contribuciones al trabajo de investigación. A los propietarios de las vinícolas visitadas por su apoyo y confianza para la realización del presente estudio. Al Laboratorio de Diseño Ambiental, a la Facultad de Arquitectura y Diseño e Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California por el préstamo de instrumentos y estaciones meteorológicas.

Referencias

American Society for Testing and Materials. (2013). *ASTM C 1046-95 Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components*. Pennsylvania: Author.

Barbaresi, A., Torregiani, D., Benni, S. y Tassinari, P. (2014). Underground cellar thermal simulation: Definition of a method for modelling performance assessment based on experimental calibration. *Energy and Buildings*, 76: 363-372.

Barisashvili, G. (2011). *Making wine in Qvevri – a unique Georgian tradition*. Elkana. Págs. 34. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. *Topografía*. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/>. 05 de mayo de 2017.

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. 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. Págs. 76.

Considine, J. A. y Frankish, E. (2014). *A complete guide to quality in small-scale wine making*. Págs. 224. ISBN: 9780124080812.

Marrara, V., Barreca, F. y Di Fazio, S. (2014). Green roofs in the sustainable design of agrifood buildings: a case-study in Calabria (Italy). *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*, Zurich. Págs. 8.

Mazarrón, F. y Cañas, I. (2008). Exponential sinusoidal model for predicting temperature inside underground wine cellars from a Spanish region. *Energy and Buildings*, 40: 1931 – 1940.

Mazarrón, F. y Cañas, I. (2009). Seasonal analysis of the thermal behaviour of traditional underground wine cellars in Spain. *Renewable Energy*, 34, 2484-2492. doi:10.1016/j.renene.2009.03.002

Mazarrón, F., López - Ocón, E., Garcimartín, M.A. y Cañas, I. (2013). Assessment of basement constructions in the winery industry. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 35, 200–206.

Ocón, E., Gutierrez, A. R., Garijo, P., Santamaría, P., López, R., Olarte, C. y Sanz, S. (2011). Factors of influence in the distribution of mold in the air in a wine cellar. *Journal of Food Science*, Vol. 76, número 3, 169-174.

Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de prácticas climatológicas. OMM-N°100*. Consultado el 09 de abril de 2017 en: 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.

Sánchez - Medrano, F. J. (2003). Arquitecturas vinícolas. *Congreso sobre Etnoarqueología del vino. Murcia: Universidad de Murcia*. Págs. 395-412.

Steiner, T. E. (2010). What is the best sterilization option for the bottling line? Winemaking problems solved. Woodhead Publishing Series. *Food Science, Technology and Nutrition*, 193. Págs. 150 – 153.

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.

Torregiani, D., Benni, S., Corzani, V., Tassinari, P. y Galassi, S. (2011). A meta-design approach to agroindustrial buildings: A case study for typical italian wine productions. *Land Use Policy*, 28: 11-18.