

Sistema de monitoreo por pozo térmico para una cava de vino subterránea**Thermal borehole monitoring system for an underground wine cellar**

BOJÓRQUEZ-MORALES, Gonzalo†*, OJEDA-SÁNCHEZ, Jorge, JIMÉNEZ-LÓPEZ, Verónica y OLVERA-GARCÍA, Daniel

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Arquitectura y Diseño, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Urbanismo y Diseño

ID 1^{er} Autor: *Gonzalo, Bojórquez-Morales* / ORC ID: 0000-0001-9303-9278, Researcher ID Thomson: C-8687-2018, CVU CONACYT ID: 79645

ID 1^{er} Coautor: *Jorge, Ojeda-Sánchez* / ORC ID: 0000-0002-5026-5459, Researcher ID Thomson: O-4381-2017, CVU CONACYT ID: 169799

ID 2^{do} Coautor: *Verónica, Jiménez-López* / ORC ID: 0000-0003-1564-1479, CVU CONACYT ID: 399944

ID 3^{er} Coautor: *Daniel, Olvera-García* / ORC ID: 0000-0002-9293-7604, CVU CONACYT ID: 488213

Recibido 08 Junio, 2018; Aceptado 30 Septiembre, 2018

Resumen

El consumo energético por climatización de cavas es un problema en la industria vinícola, debido a ello se emite 1 tonelada de CO₂ por cada tonelada de vino producido. En el Valle de Guadalupe, Baja California, México existen 68 vinícolas de producción artesanal que por el uso de sistemas de enfriamiento aumentan el costo del producto final y disminuye su competitividad de mercado. El subsuelo circundante de una cava subterránea representa un sistema de enfriamiento pasivo, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la oscilación en la temperatura en tres profundidades de un pozo térmico y ver su efecto sobre el ambiente térmico óptimo para el envejecimiento del vino. Los resultados obtenidos sirven de base para evaluar propuestas de cavas subterráneas como estrategia de diseño bioclimático que optimicen el desempeño térmico y reduzcan el uso de sistemas activos, en beneficio de los productores artesanales de vino.

Pozo Térmico, Monitoreo Térmico, Desempeño Térmico**Abstract**

The energy consumption for climate control of wine cellars is a problem in the wine industry, due to this, 1 ton of CO₂ is emitted for each ton of wine produced. In Valle de Guadalupe, Baja California, Mexico there are 68 artisanal production wineries that, due to the use of cooling systems, increase the cost of the final product and decrease its market competitiveness. The surrounding subsoil of an underground wine cellar, represents a passive cooling system, so the objective of this work was to evaluate the oscillation in temperature at three depths of a thermal borehole and to see its effect on the optimal thermal environment for the aging of the wine. The results obtained serve as a basis to evaluate proposals for underground cellars as a bioclimatic design strategy that optimizes thermal performance and reduces the use of active systems, for the benefit of artisanal wine producers.

Thermal Well, Thermal Monitoring, Thermal Performance

Citación: BOJÓRQUEZ-MORALES, Gonzalo, OJEDA-SÁNCHEZ, Jorge, JIMÉNEZ-LÓPEZ, Verónica y OLVERA-GARCÍA, Daniel. Sistema de monitoreo por pozo térmico para una cava de vino subterránea. Revista de Energía Química y Física. 2018. 5-16: 1-13.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: gonzalobojorquez@uabc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El consumo energético por climatización del interior de las cavas es un problema común en la industria vinícola. Además, según Tinti et al., (2014) se emite 1 tonelada de CO₂ por cada tonelada de vino producido, en mayor parte esto se debe al uso de climatización artificial para control de la temperatura de espacios destinados a la conservación y el añejamiento de los vinos.

En el Valle de Guadalupe, Baja California, existen aproximadamente 89 casas vinícolas, un 77% de ellas son propiedad de pequeños productores con menos de 10,000 cajas de vino al año (Meraz et al., 2015), quienes han implementado estrategias de diseño diversas en sus cavas para asegurar el control de la temperatura. Sin embargo, el uso de sistemas activos y mecánicos para el enfriamiento de los espacios interiores aumenta el costo operativo de las cavas de vino al demandar mayor consumo de energía, por lo que los pequeños productores se ven obligados a subir el precio de las botellas de vino, lo que disminuye su competitividad en el mercado local, nacional e internacional. Por ello, la cava de vino subterránea representa una solución de diseño para regular la temperatura de bulbo seco debido al contacto con la tierra que funciona como masa térmica.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la oscilación por el efecto en la temperatura de bulbo seco en tres profundidades del suelo sobre el ambiente térmico óptimo para el envejecimiento del vino en una cava subterránea del Valle de Guadalupe. Lo anterior, se realizó a partir del registro de datos con instrumentación especializada y con base en normas internacionales para monitoreo ambiental interior y exterior de un pozo térmico. Los resultados obtenidos sirven de base para evaluar propuestas de cavas subterráneas como estrategia de diseño bioclimático que optimicen el desempeño térmico y reduzcan el tiempo de uso de sistemas activos, en beneficio de los productores artesanales de vino. A nivel internacional, se han realizado estudios sobre el desempeño térmico de cavas de vino y edificios que requieren un control específico de las condiciones higrotérmicas interiores como los trabajos de Mazarrón et al., (2012) en España, Marrara et al., (2014) y Barbaresi et al., (2015) en Italia, quienes además analizaron los beneficios energéticos por la aplicación de estrategias bioclimáticas a dichas edificaciones.

En cuanto a estudios específicos con cavas de vino subterráneas se pueden mencionar los trabajos de Mazarrón et al., (2013), Martín y Cañas (2006) y Tinti et al., (2014), estos últimos han analizado la reducción del consumo energético debido al efecto del subsuelo en el ambiente térmico interior de cavas italianas.

En México, la investigación sobre el desempeño térmico y eficiencia energética en cavas de vino subterráneas a nivel local y nacional es prácticamente nula. Se tiene el antecedente del trabajo de Cavazos (2012) sobre escenarios futuros de cambio climático para el Valle de Guadalupe; Calderón et al., (2015) analizaron por monitoreo térmico las condiciones interiores de una cava de vino semi-enterrada, este trabajo constituye el único antecedente próximo a la zona de estudio con enfoque en la arquitectura bioclimática, pero que no aborda el beneficio del suelo como elemento de diseño termorregulador. Los resultados obtenidos exponen la posibilidad y relevancia de beneficios energéticos, ambientales y socioeconómicos, debido al análisis del efecto directo de las propiedades térmicas del suelo. Por otro lado, el estudio sirve como base de aplicación sobre diseño de espacios para procesos de producción y almacenamiento de otros productos locales como cerveza artesanal y queso.

Materiales y métodos

Este apartado se conforma de siete subtemas: 1) Diseño de investigación, 2) Requerimientos de la cava, 3) Zona de estudio, 4) Caso de estudio, 5) Pozo térmico, 6) Monitoreo y 7) Análisis de resultados.

Diseño de investigación

El estudio tiene un enfoque cuantitativo, basado en un análisis transversal, con datos obtenidos de un método cuasiexperimental, que explica los resultados con un estudio comparativo (Figura 1) (Hernández-Sampieri et al., 2014).

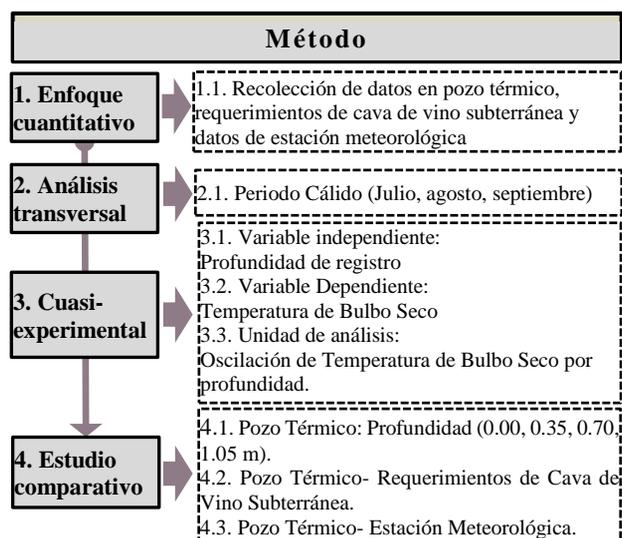


Figura 1 Diseño de la investigación.

Fuente: *Elaboración Propia*

Requerimientos de la cava

La diversidad de materiales y sistemas constructivos, así como los procesos de elaboración y producción de vino en las cavas hacen necesario que, para tener las condiciones ideales de envejecimiento de vino, con respecto a temperatura de bulbo seco y humedad relativa, se utilicen sistemas activos de enfriamiento, calentamiento o humidificación en espacios interiores, lo que genera un aumento del consumo energético y del gasto económico por acondicionamiento ambiental interior (Calderón et al., 2014).

Esta situación afecta directamente a los productores artesanales, ya que son quienes tienen menor capacidad económica (En comparación con productores de tipo industrial) para solventar el costo por uso de energía eléctrica en sus cavas, lo que ocasiona el aumento en el precio final de sus productos y disminuye sus posibilidades de competencia en el mercado.

Las cavas de vino construidas en el Valle de Guadalupe responden en su mayoría a necesidades sociales y de turismo, dándole menor importancia a las condiciones climáticas. Lo anterior está relacionado con la capacidad económica y el impacto de la Región vitivinícola en el Estado que promueve el crecimiento del turismo y que estimula la creación de casas vinícolas de manera acelerada.

El rango de temperatura ambiente interior para el área de envejecimiento del vino es de 10 °C a 20 °C (área de estudio) y para el área de producción de 15 °C a 25 °C (Barbaresi et al., 2014, Boulton et al., 1995, Hidalgo, 2003, Steiner, 2010, Mazarrón et al., 2012 y Sáez, 2011). En el caso del área de envejecimiento, las temperaturas del ambiente por arriba del límite mencionado ocasionan una maduración acelerada de la uva lo que afecta la densidad del mosto, la acidez y por lo tanto la calidad del vino, mientras que las temperaturas por debajo de los 10 °C retrasan el crecimiento y modifican desfavorablemente las fases fenológicas de la vid.

Zona de estudio

El Valle de Guadalupe se ubica en el Municipio de Ensenada, Baja California a 32°05' latitud norte y 116°34' longitud oeste en el noroeste de México, a 100 km de la frontera suroeste de Estados Unidos. Se considera una zona rural con 5,316 habitantes divididos en tres delegaciones: Francisco Zarco, San Antonio de las Minas y El Porvenir.

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 observó que la sierra que rodea a la zona tiene una altura máxima de hasta 1050 MSNM (INEGI, 2016). El clima es de tipo mediterráneo BSks (e) (García, 1964) con un periodo cálido de junio a septiembre, con una temperatura promedio máxima registrada de 32 °C y un periodo frío de diciembre a marzo con temperaturas mínimas promedio de hasta 3 °C.

Según Jiménez-López (2018), el suelo es de tipo Fluvisol con Regosol, con clase textural gruesa, en los 0.30 m superficiales. Tiene un porcentaje de arcilla de 44%, de limo de 16% y de arena de 42%; con presencia de rocas en algunas áreas. Jiménez-López (2018), realizó un estudio de las temperaturas del suelo en el Valle de Guadalupe por simulación térmica dinámica, con puntos de referencia cada 0.50 m de profundidad, desde 0.00 m hasta los 2.50 m. Se hizo el análisis de promedios mensuales durante todo el año. Los resultados obtenidos indican el potencial general para reducir la oscilación de temperaturas para cavas subterráneas sobre todo en el periodo de octubre a abril (Figura 2).

Caso de estudio

El 90% del vino nacional se produce en El Valle de Guadalupe en Baja California, con una producción estimada de 1.7×10^5 hectolitros (hl) al año (Cavazos, 2012). En México es la zona vitivinícola de mayor extensión territorial y la más importante por su producción, clima mediterráneo y ubicación geográfica óptima para el cultivo de vid, entre los paralelos 30° y 50° latitud norte, denominada como una de las franjas del vino a nivel mundial. Existen más de 80 vinícolas, el 77% son pequeños productores que utilizan procesos tradicionales de vinificación por lo que se consideran de tipo artesanal, con una producción menor a 450 hl 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.

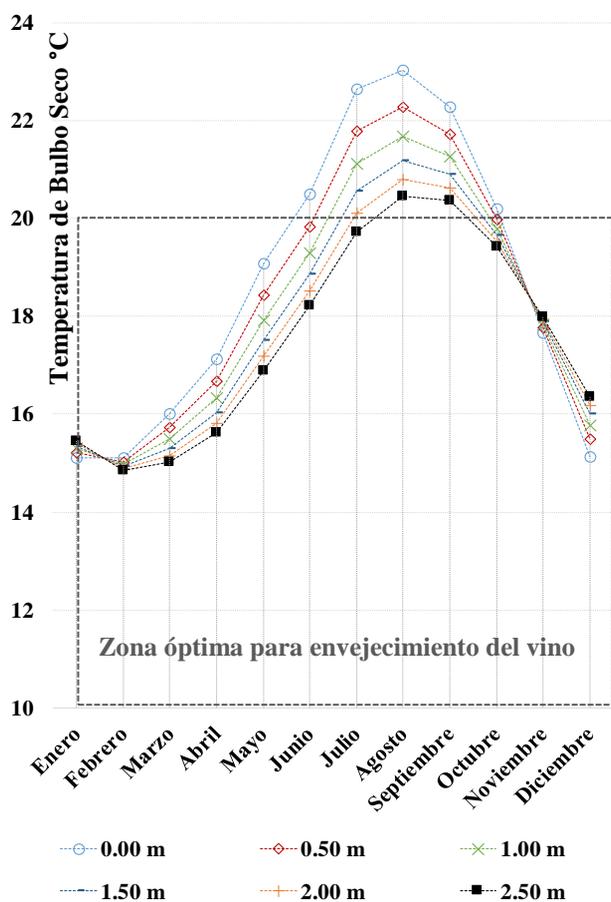


Figura 2 Temperatura promedio mensual del suelo, por simulación, a diferentes profundidades en el Valle de Guadalupe

Fuente: Desarrollado con base en Jiménez-López, 2018

Se realizaron recorridos en la zona de estudio y se estableció en cuales vinícolas la producción era de tipo artesanal. Se recopiló información de 21 cavas de vino de producción artesanal.

El 47% de las cavas se localizaron en el Porvenir, 42% en San Antonio de Las Minas y 11% en Francisco Zarco. Se hizo una caracterización de cavas de vino artesanal ubicadas en el Valle de Guadalupe. Se diseñó una cédula de registro de: 1) Sistemas constructivos, 2) Tipología arquitectónica, 3) Condiciones ambientales y 4) Masa térmica interior.

Los criterios de selección del caso de estudio fueron: 1) Localización y accesibilidad, 2) Ubicación constructiva: se refiere a la relación de la construcción con el nivel natural del terreno, el tipo más observado fue el subterráneo seguido de la construcción al nivel natural del terreno, 3) Disponibilidad y acceso para realizar el monitoreo ambiental dentro y fuera del edificio. 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).

El terreno donde se ubica el edificio cuenta con un relleno de aproximadamente 2 m de altura que permitió que la excavación para la construcción de la cava fuera menor, se consideró como construcción subterránea debido a que la mayor parte del volumen tiene contacto con el subsuelo. La fachada principal tiene orientación suroeste, los muros de la cava son de piedra y concreto, con techos de estructura metálica con concreto, se observó una doble altura en el área de producción y la altura promedio estimada fue de 5 m (Figuras 3a y 3b).

En el interior de la cava se identificaron dos áreas, una de producción y otra de envejecimiento del vino (Figura 3b), distribución que coincide con el ideal teórico (Considine y Frankish (2014), Eisenman (1998), Sánchez-Medrano (2003) y Boulton et al. (1995)). En el área de envejecimiento se encontró un sistema de humidificación y enfriamiento, mientras que el área de producción cuenta con un sistema activo de enfriamiento. Además, el edificio tiene área de degustación, ventas, baños para visitantes, oficina y bodega.

Pozo térmico

El diseño de pozo térmico se hizo con base en la revisión de los trabajos de Tinti et al., (2014), ASTM C 1046-95 (2013), ASTM D5753-05 (2010), Barbaresi et al., (2015), Cabezas (2013), ISO 7726 (2012), Mazarron et al., (2012), Mazarrón y Cañas (2009), Mazarrón et al., (2013), Murphy y McCartney (2014), y Saqaff et al., (2016).



a) Elevación principal y ubicación de pozo térmico



b) Corte transversal

Figura 3 Elevación, pozo térmico y corte transversal del caso de estudio

Fuente: *Elaboración Propia*

La propuesta inicial tuvo como criterios para la toma de decisiones lo siguiente:

1. Definir profundidades de monitoreo (viables de realizar con excavación manual), ubicación con respecto a la cava y materiales e instrumentos con base en la experiencia de otros estudios, pero considerar las limitaciones financieras de este trabajo.
2. Capacidad de almacenamiento de información de los instrumentos en función de la distancia de recorrido para visitas de campo (200 km, aproximadamente 2.5 h de traslado), se consideró una visita mensual.

3. Reducción de costos en cuanto a la fabricación, instalación (perforación y colocación de sensores) y operación del pozo térmico.
4. Accesibilidad y operación de instrumentos de monitoreo, con respecto a su uso, acceso a los mismos (por costo y disponibilidad) y costo operativo (por cambios de baterías).

Las profundidades iniciales fueron cuatro puntos de registro: 0.00 m, 0.70 m, 1.40 m y 2.20 m, además de un sensor de temperatura de bulbo seco y humedad relativa a 1.30 m (según ISO 7726, 2012) sobre nivel de terreno natural, como referencia del microclima inmediato al pozo.

Al perforar se hizo un hueco en el terreno de relleno de 0.40 m de diámetro, al llegar a 1.05 m se encontró una roca que no hizo posible una profundidad mayor, por lo que se hicieron modificaciones a las profundidades de estudio y quedaron en 0.00 m, 0.35 m, 0.70 m y 1.05m. Durante la perforación, el material extraído en cada estrato de 0.30 m, era separado, para que al rellenar se introdujera la tierra correspondiente al estrato extraído.

Las variables a medir se determinaron en función del costo de los sensores y sus condiciones de operación, al estar enterrados se decidió utilizar termopares marca ONSET, tipo HOBO (Tipo T: cobre-constantán), conectados a un registrador de 4 salidas (Tabla 1), además se utilizó un sensor de temperatura de bulbo seco (tipo t) y humedad relativa (Marca ONSET, Tipo HOBO) colocado dentro de un escudo de radiación solar a 1.30 m del terreno natural (Tabla 1, Figura 3).

Todos los sensores se probaron bajo condiciones controladas (agua hirviendo a 100 °C y agua saturada en hielo, próximo a 0.0 °C) para determinar el error en cada uno de ellos con base en un sensor calibrado bajo norma de ASTM C 1046-95 (2013), se les colocó una etiqueta con el error registrado en cada caso.

Para proteger el sistema de cableado de los sensores, el pozo térmico fue construido con tubo de policloruro de vinilo (PVC, por sus siglas en inglés), y las uniones de las partes y tapones fueron de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS, por sus siglas en inglés).

Los diámetros de ambos materiales fueron de 0.0508 m (2"). Los puntos de registro de temperatura de bulbo seco se armaron con codos de 45° grados, con tapones perforados para la salida del termopar, para que estuviera en contacto directo con el suelo en el punto de registro (Figura 4a).

| Parametro | Temperatura de Bulbo Seco | de Humedad Relativa |
|--|---------------------------|---------------------|
| Sensor de registro a 1.30 m sobre nivel de terreno | | |
| Rango de medición | -20 a 70 °C | 5 a 95 % |
| Precisión | ± 0.35 °C | ± 2.5% |
| Resolución | 0.03°C | 0.05% |
| Sensor de registro a 0.80 m, 0.35m, 0.70m, 1.05m de profundidad | | |
| Rango de medición | -260° a 400°C | --- |
| Precisión | ±0.6°C | --- |
| Resolución | 0.03°C | --- |

Tabla 1 Especificaciones técnicas de instrumentos de monitoreo del pozo térmico.

Fuente: Onset Computer Corporation (2016)

El pozo térmico se ubica en el exterior, con una separación de 1.80 m de distancia del muro sureste del área de degustación (que esta sobre la cava subterránea) (Figura 3a). Cabe mencionar que es una zona que se sombrea con el propio edificio y con un sembrado de vid sobre ella. Esta ubicación fue elegida por su cercanía con la cava y por ser de poca circulación para las actividades propias de la vinícola.

Monitoreo

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 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 disponibilidad de una estación meteorológica; 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.



a). Ensamble y pruebas de pozo térmico



b). Instalación de pozo térmico

Figura 4 Pozo térmico, fabricación e instalación
Fuente: Elaboración Propia

Los periodos de estudio se dividieron en dos: 1) Cálido: de mayo a septiembre y 2) Frío: de octubre a abril. El inicio del monitoreo fue en julio de 2017, en este trabajo solo se analizaron los datos de julio a septiembre, con base en tres días representativos, según los registros de la estación meteorológica: 1) Día de temperatura de bulbo seco mínima (22 de septiembre 2017), 2) Día de temperatura de bulbo seco promedio (18 de septiembre 2017) y 3) Día de temperatura de bulbo seco máxima (29 de agosto 2017).

Se colocó la estación meteorológica (Marca ONSET) con sensores de presión atmosférica, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento.

Para la ubicación de la estación se consideraron los criterios de emplazamiento que menciona la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en la Guía de prácticas climatológicas (2011). 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.

En el montaje de la estación se utilizó como soporte un tubo metálico de 3.80 m de altura con un brazo transversal y una base de concreto que se enterró 0.50 m para asegurar la estabilidad del tubo en periodos de vientos fuertes, además se utilizaron tres tensores de cable de acero como refuerzo. El soporte se pintó de color gris mate para evitar la afectación de las mediciones por radiación solar. A manera de señalización nocturna se utilizaron listones de papel tornasol que además sirvieron para ahuyentar pájaros y evitar su anidación en los sensores de la estación.

Para el contacto con tierra se utilizó una varilla de cobre de 1 m de alto enterrada 0.50 m y unida por medio de un cable metálico a cada sensor de la estación meteorológica. El sensor de vientos se colocó al norte y el sensor de radiación solar al sur, para lo que se utilizó una brújula digital (Figura 5). Se hizo una prueba piloto de registro durante 15 días con grabación de datos cada 15 minutos. Se revisó que todos los sensores funcionaran correctamente y que el soporte metálico fue estable y se mantuvo nivelado durante dicho periodo. Sin embargo, el porcentaje de carga de la batería disminuyó en un 50%, por lo que se cambiaron las baterías alcalinas por baterías de litio y se reprogramó la frecuencia de registro a 30 minutos (En la estación meteorológica, pozo térmico y sensores en la cava). Lo anterior permitió tener las visitas para mantenimiento y descarga de datos cada 30 días.

En el monitoreo térmico al interior de la cava se consideraron:

1. Las zonas principales de una cava de vino con base en los resultados de la caracterización realizada con las cédulas de recopilación de información.

2. Las variables meteorológicas a medir, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro y humedad relativa.
3. Selección de instrumentación disponible, de fácil transportación y colocación.
4. Cantidad de sensores y su posición en el interior de la cava.
5. Frecuencias de registro de datos, que permitió la programación de visitas para mantenimiento de sensores y descarga de información.
6. Calibración de sensores.
7. Colocación de sensores.
8. Análisis de los datos obtenidos.

Para medir temperatura de bulbo seco (TBS), los instrumentos utilizados fueron registradores de datos, con sensores tipo transductor de cobre – constatan (Tipo T) (Marca ONSET, Tipo HOBO). El rango de medición de temperatura de bulbo seco es de -20°C a 70°C , la precisión para medición es de $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0°C a 50°C . Para mediciones de temperatura de globo negro (TGN) se utilizó un sensor del mismo tipo, con un rango de medición de -40°C a 100°C , el tiempo de respuesta es de 2 minutos con aire en movimiento a 1 m/s y su peso es de 0.034 kg (Figura 5).

El sensor se colocó en el centro geométrico de una pelota de tenis de mesa, pintada de color negro mate, con diámetro de 0.045 m, que se pegó a un cono de 0.15 m de altura, al cual se le aplicó acabado de pintura color gris mate. Este instrumento para mediciones de TGN fue validado con un monitor de estrés térmico que cumple con la norma ISO 7726 (2012), presentó variaciones de $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$, las cuales se consideraron para el análisis de resultados. Para facilitar la colocación y el manejo de los sensores, se utilizó un soporte para cámara fotográfica que se pintó de color gris mate.



Figura 5 Sensor de globo negro, temperatura de bulbo seco y humedad relativa (*Izquierda*) en el interior de la cava y estación meteorológica (*Derecha*)

Fuente: *Elaboración Propia*

Análisis de datos

Los promedios horarios de los datos de registro de temperatura de bulbo seco de las diferentes profundidades del pozo térmico, los de temperatura de bulbo seco a 0.00 m de profundidad y a 1.30 m de altura del pozo térmico, así como los de la estación meteorológica fueron comparados entre sí. Se tomó como referencia de comparación los valores registrados en el sensor a 1.05 m de profundidad del pozo térmico. Se utilizó el método de porcentajes de diferencia como medio de comparación. Se consideró como parte importante en el estudio comparativo la variación de los valores registrados de temperatura de bulbo seco con respecto a los requerimientos de temperatura óptima para envejecimiento del vino (10 a 20 °C).

Cabe mencionar que en esta publicación los datos registrados al interior de la cava no fueron considerados en las comparaciones debido al uso de aire acondicionado y humidificadores en la misma. En el periodo frío que es cuando no se utilizan los sistemas de enfriamiento y humidificación artificial, será la comparación de resultados. Para el análisis de resultados se utilizaron códigos de identificación en los sensores (Tabla 2).

| Clave | Descripción |
|-----------|---|
| PTTBS000 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.00 m |
| PTTBS035 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.35 m |
| PTTBS070 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.70 m |
| PTTBS105 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 1.05 m |
| PTTBS+130 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Altura 1.30 m |
| EMTBS | Estación Meteorológica, Temperatura de Bulbo Seco |

Tabla 2 Códigos de identificación de sensores

Fuente: *Elaboración Propia*

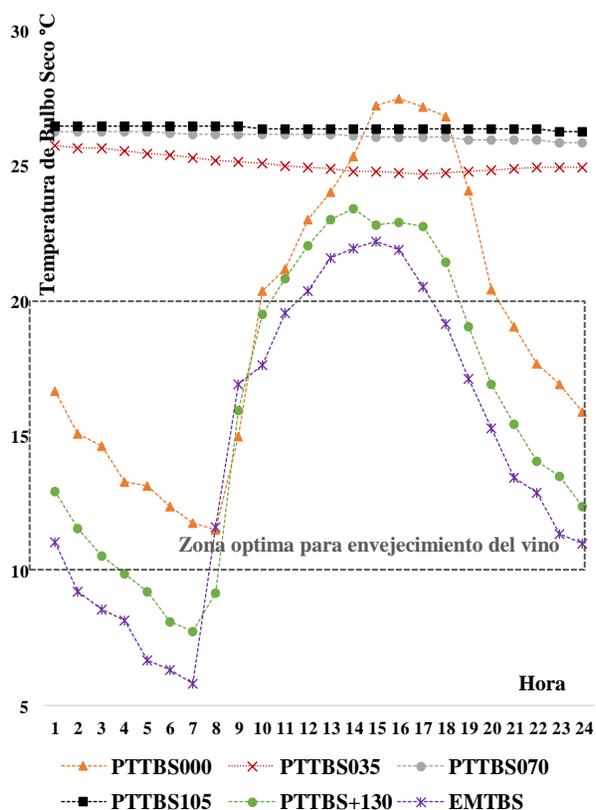
Resultados

Los resultados se presentan con base en los sensores del pozo térmico, zona óptima para envejecimiento del vino y la estación meteorológica. Se analizaron los días con los valores mínimo, promedio y máximo de la temperatura de la estación meteorológica y el sensor de referencia para la comparación descrita será el que se encuentra a 1.05 m de profundidad identificado como PTTBS105.

Día con temperatura de bulbo seco mínima (22 de septiembre 2017)

Con relación a las temperaturas exteriores (PTTBS000, PTTBS+130, EMTBS), que son aquellas que no son subterráneas, se observa que en el caso del valor máximo el sensor PTTBS000, de 15 a 18 h, presenta valores mayores a los registros subterráneos de PTTBS105 con una diferencia de 4%. El registro mínimo de temperatura se dio en la estación meteorológica (EMTBS), a las 7 horas, que presenta una variación con el sensor PTTBS105 del 78% (Figura 6). Se considera que en este caso el efecto del riego sobre la vegetación próxima al pozo térmico tuvo un efecto significativo en las temperaturas registradas. Lo anterior se observa en el sensor PTTBS035 y PTTBS070 que tienen valores menores al sensor PTTBS105 que está al triple de profundidad. Con respecto a la oscilación de temperaturas en los sensores subterráneos se observa que el PTTBS105 fue el más estable con una variación entre el valor mayor y el mínimo próximo a cero, mientras que para el sensor PTTBS070 la variación fue de 1%, y para PTTBS035 fue de 4%.

Con respecto a la zona óptima de envejecimiento del vino se observa que las temperaturas de este día el 70% del tiempo están dentro del rango requerido (10 a 20 °C), mientras que la diferencia del rango mayor (20 °C) con respecto al valor medio de PTTBS105 es de 25%. Al comparar los datos simulados por Jiménez-López (2018) (Figura 2), en el caso de la profundidad de 1.05 m (comparada con la de 1.00 m) se observa una variación del 19%.



| Clave | Descripción | Mínima | Promedio | Máxima |
|-----------|---|--------|----------|--------|
| PTTBS000 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.00 m | 11.5°C | 19.2°C | 27.5°C |
| PTTBS035 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.35 m | 24.7°C | 25.1°C | 25.8°C |
| PTTBS070 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.70 m | 25.9°C | 26.1°C | 26.3°C |
| PTTBS105 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 1.05 m | 26.3°C | 26.4°C | 26.5°C |
| PTTBS+130 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Altura 1.30 m | 7.8°C | 16.1°C | 23.5°C |
| EMTBS | Estación Meteorológica, Temperatura de Bulbo Seco | 5.8°C | 14.6°C | 22.2°C |

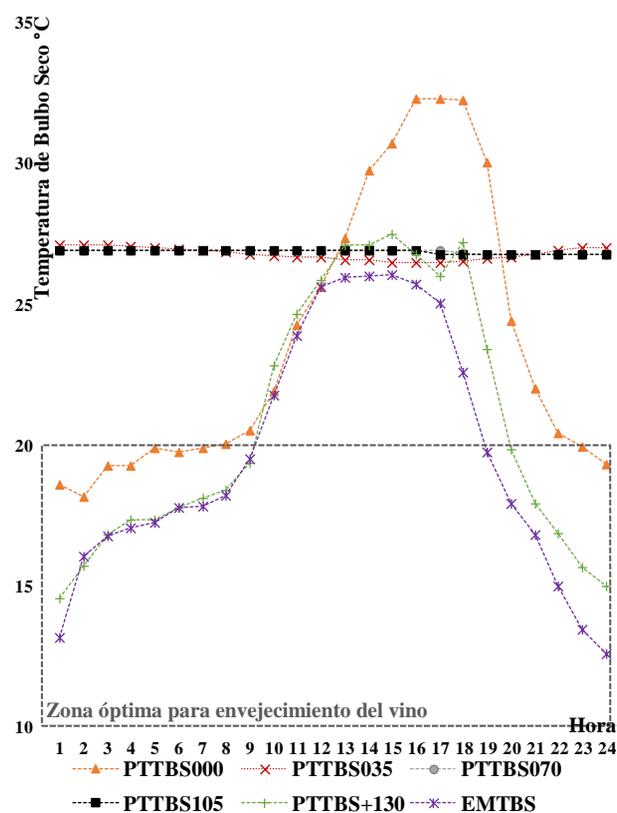
Figura 6 Oscilación de temperaturas, día de valor mínimo (22 de septiembre 2017)

Fuente: Elaboración Propia

Día con temperatura de bulbo seco promedio (18 de septiembre 2017)

El día con el valor medio de temperatura de bulbo seco, se observa que en el caso del valor máximo el sensor PTTBS000, de 16 a 18 h, presenta valores mayores a los registros subterráneos de PTTBS105 con una diferencia de 17%. El registro mínimo de temperatura se da en EMTBS, a las cero horas, que presenta una variación con el sensor PTTBS105 del 53% (Figura 7).

Existe un efecto por riego de 16 a 19 h en los registros del sensor PTTBS035, donde disminuye a valores menores de PTTBS105. En los sensores PTTBS070 y PTTBS105 su comportamiento es similar en este caso. La oscilación de temperaturas en el sensor PTTBS105 es el más estable con una variación entre el valor mayor y el mínimo próximo a cero, mientras que para el sensor PTTBS070 la variación fue de 1%, y para PTTBS035 fue de 2%.



| Clave | Descripción | Mínimo | Promedio | Máximo |
|-----------|---|--------|----------|--------|
| PTTBS000 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.00 m | 18.2°C | 23.7°C | 32.3°C |
| PTTBS035 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.35 m | 26.5°C | 26.8°C | 27.1°C |
| PTTBS070 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.70 m | 26.8°C | 26.9°C | 26.9°C |
| PTTBS105 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 1.05 m | 26.8°C | 26.9°C | 26.9°C |
| PTTBS+130 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Altura 1.30 m | 14.6°C | 20.8°C | 27.5°C |
| EMTBS | Estación Meteorológica, Temperatura de Bulbo Seco | 12.6°C | 19.7°C | 26.1°C |

Figura 7 Oscilación de temperaturas, día de valor promedio (18 de septiembre 2017)

Fuente: *Elaboración Propia.*

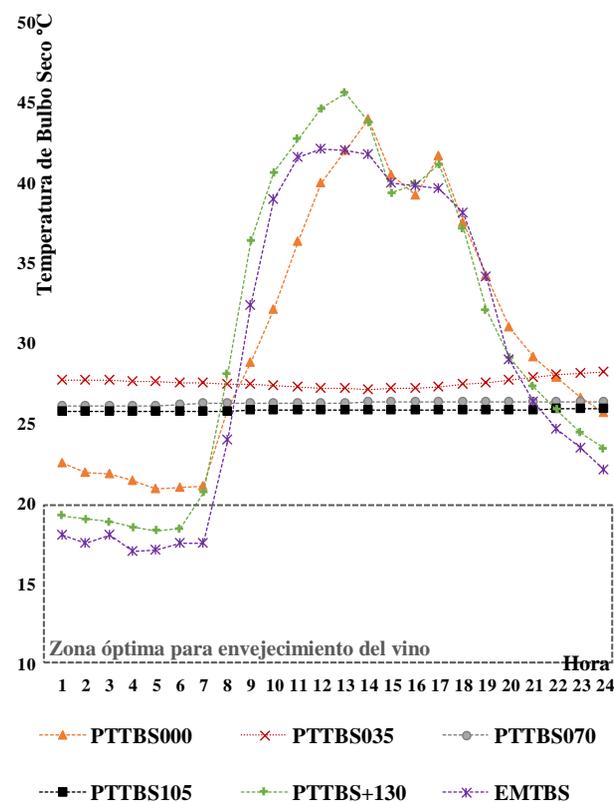
En lo que respecta a la zona óptima de envejecimiento del vino se observa que las temperaturas de este día, el 42% del tiempo están dentro del rango requerido (10 a 20 °C), mientras que la diferencia del rango mayor (20 °C), con respecto al valor medio de PTTBS105 es de 25%. La variación entre los datos simulados por Jiménez - López (2018) (Figura 2), en el caso de la profundidad de 1.05 m (comparada con la de 1.00 m) fue del 19%.

Día con temperatura de bulbo seco máxima (29 de agosto 2017)

En el caso del día con el valor máximo de temperatura de bulbo seco, se observa que en el caso del valor mayor fue para el sensor PTTBS+130, a las 13 horas, presenta un valor mayor al registro de PTTBS105 con una diferencia de 43%. El registro mínimo de temperatura se da en EMTBS, a las 4 horas, que presenta una variación con el sensor PTTBS105 del 34% (Figura 8). No se observa un efecto por riego, en los sensores subterráneos, y su desempeño es el esperado acorde al nivel de profundidad de cada uno, siendo el más profundo el de mayor estabilidad y el de menor profundidad el menos estable.

La oscilación de temperaturas en los sensores PTTBS105 y PTTBS070 es del 1%, pero con una diferencia del 2% entre los valores mínimos y máximos de un sensor con relación al otro, mientras que para el sensor PTTBS035 la variación fue de 4%. Al analizar la zona óptima de envejecimiento del vino se observa que las temperaturas de este día, el 30% del tiempo están dentro del rango requerido (10 a 20 °C), mientras que la diferencia del rango mayor (20 °C), con respecto al valor medio de PTTBS105 es de 25%. Al comparar los datos simulados por Jiménez (2018) (Figura 2), para el mes de agosto y en el caso de la profundidad de 1.05 m (comparada con la de 1.00 m) se observa una variación del 17%.

En términos generales se observa que la temperatura a partir de los 0.70 y 1.05 m de profundidad es estable sin tener afectación significativa de la temperatura exterior. A la profundidad de 0.35 m le afecta significativamente los periodos de riego, sobre todo en temperaturas bajas.



| Clave | Descripción | Mínima | Promedio | Máxima |
|-----------|---|--------|----------|--------|
| PTTBS000 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.00 m | 20.9°C | 30.5°C | 44.0°C |
| PTTBS035 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.35 m | 27.1°C | 27.5°C | 28.2°C |
| PTTBS070 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 0.70 m | 26.1°C | 26.2°C | 26.3°C |
| PTTBS105 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Profundidad 1.05 m | 25.7°C | 25.8°C | 25.9°C |
| PTTBS+130 | Pozo térmico, Temperatura de Bulbo Seco, Altura 1.30 m | 18.3°C | 30.6°C | 45.6°C |
| EMTBS | Estación Meteorológica, Temperatura de Bulbo Seco | 17.0°C | 22.1°C | 42.1°C |

Figura 8 Oscilación de temperaturas, día de valor máximo (29 de agosto 2017)

Fuente: *Elaboración Propia*

La variación de los registros a 1.05 m son siempre menores a 1% lo que indica que una cubierta de tierra con este espesor y la compactación similar puede generar un excelente estabilizador térmico. Las tres profundidades estudiadas (0.35, 0.70 y 1.05 m) presentaron variaciones con valor máximo del 4%, lo que indica la importancia del suelo como elemento retardante de la carga térmica.

En el análisis de variación de las temperaturas exteriores con respecto a la zona de envejecimiento del vino se presentan valores del 30 al 70% dentro del rango, esta variación da una idea de la demanda de aire acondicionado. Por otro lado, la diferencia entre los datos registrados en el pozo térmico a 1.05 m, (con respecto a la temperatura límite de 20°C) se mantiene en el 25% para los tres días analizados.

Los datos monitoreados en este estudio comparados con la simulación realizada por Jiménez (2018) (Figura 2), tuvieron variaciones entre el 17 y 19% en el caso de la profundidad de 1.05 m (monitoreada) contra la de 1.00 m simulada. Esto indica una diferencia significativa, por lo que se requiere un análisis específico en ambos métodos de estudio.

Conclusiones

Los resultados encontrados muestran que el uso del suelo como masa térmica retardante de la oscilación de temperaturas es una técnica adecuada para la estabilización de la temperatura, con posibilidad de funcionamiento con una capa de 0.35 m o más, además se observa el que el efecto después de los 0.75 m no tiene una variación significativa con respecto a una profundidad mayor como 1.05 m.

En el día crítico analizado, la temperatura media registrada (26.5°C) en el pozo térmico en sus tres profundidades (0.35, 0.70, 1.05 m) con respecto a la temperatura media del ambiente térmico exterior (43.4°C), representan una variación de 39%, lo que representa un menor uso del aire acondicionado para mantener la cava en condiciones ideales para el envejecimiento del vino.

El estudio presenta limitaciones debido a que no fue posible estudiar profundidades mayores a 1.05 m, debido a la presencia de roca en la excavación del pozo térmico. Las condiciones de la cava en periodo cálido requieren del uso del aire acondicionado para tener la temperatura idónea para envejecimiento del vino, lo que genera temperaturas al interior menores a las registradas en el pozo térmico.

Es necesario un estudio del tipo de suelos y composición de los mismos para determinar la ubicación ideal de pozos térmicos nuevos para el estudio. Se requiere un análisis de profundidades mayores para determinar si existe un cambio significativo en la oscilación de temperaturas a más de 1.05 m. Se requiere un estudio por simulación térmica dinámica del pozo térmico, para tener condiciones de comparación reales, que permitan extrapolar resultados de periodos no monitoreados o profundidades no analizadas.

Se considera que por la importancia de la zona en lo que respecta a la producción de vino existe una aportación importante en cuanto al uso de cavas subterráneas o estrategias similares que impliquen el uso de tierra o suelo como sistema de masa térmica para estabilizar la oscilación de temperaturas con respecto al edificio. Los resultados son aplicables para la toma de decisiones en el diseño de cavas nuevas o adaptaciones de cavas existentes con técnicas de techo verde, taludes de tierra o incluso uso de materiales como cob.

Agradecimientos

A todo el personal de apoyo en el proceso de fabricación, instalación y operación del pozo térmico, sensores interiores y estación meteorológica. Al IIE. Alan Guadalupe Negrete Bojorquez por su apoyo en la adaptación de instrumentos de perforación y monitoreo. A Torres Alegre Vinícola, Facultad de Arquitectura y Diseño, Instituto de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Baja California y Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima por todo el apoyo brindado para la realización de este estudio. Al Dr. ZBJ por todo el apoyo durante la realización de este estudio.

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.

American Society for Testing and Materials. (2010). ASTM D5753-05. Standard Guide for Planning and Conducting Borehole Geophysical Logging. Pennsylvania: Author.

Barbaresi, A., Torregiani, D., Benni, S. Tassinari, P. (2015). Indoor air temperature monitoring: A method lending support to management and design tested on a wine-aging room. *Building and Environment*, 86: 203-210.

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: Acribia S. A. Zaragoza, España. Págs. 636.

Cabezas A. (2013). Eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real “casa pomaret”. Tesina presentada al Máster Universitario Oficial en Edificación de la Universidad Politécnica de Catalunya – UPC. Barcelona.

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.

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. Págs. 90.

Hernández-Sampieri, R. Fernández-Collado, C, y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación, Sexta edición, México: Mc Graw Hill.

Hidalgo, J. (2003). Tratado de Enología (Treatise of Enology). Ediciones Mundi - Prensa, Madrid, España.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016) Topografía. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/>. 05 de mayo de 2017.

International Organization for Standardization (2012). ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities. Ginebra: Autor.

Jiménez-López V. (2018). Comunicación personal MIMEO, Potencial de desempeño higrotérmico de estrategias bioclimáticas aplicadas a cavas de vino artesanal del Valle de Guadalupe, Baja California. Tesis Doctoral en proceso. Resultados Preliminares. Universidad de Colima.

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.

Martín, S. y Cañas, I. (2006). Comparison of analytical and on site temperature results on Spanish traditional wine cellars. *Applied Thermal Engineering*, 26: 700-708.

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.

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

Meraz, L., Valderrama, J.A. y Maldonado, S.E. (2015). La ruta del vino del Valle de Guadalupe: Una estrategia competitiva diferenciada para el desarrollo local. Universidad Autónoma de Baja California. Págs. 21.

Murphy, K. and McCartney, J. (2014). Thermal Borehole Shear Device, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 37, No. 6, pp. 1–16, doi:10.1520/GTJ20140009. ISSN 0149-6115.

Organización Meteorológica Mundial. (2011). Guía de prácticas climatológicas. OMM-Nº100. 2011. Consultado el 09 de abril de 2017 en: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf.

Sáez, P. (2011). Condiciones ambientales en las bodegas. 2011. <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. Págs. 395-412.

Saqaff A. Alkaff, S., Sim N, M.N. Ervina-Efzan. (2016). A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 60: 692- 713.

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.