



# X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



## Estratificación en “bodegas catedral” para la crianza de vinos generosos

E. G. Navía-Osorio<sup>1</sup>; C. Porrás-Amores<sup>2</sup>; F. R. Mazarrón<sup>1</sup>, I. Cañas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid; E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas; Departamento de Ingeniería Agroforestal, 28040 Madrid; [egnavia@gmail.com](mailto:egnavia@gmail.com); [f.ruiz@upm.es](mailto:f.ruiz@upm.es); [ignacio.canas@upm.es](mailto:ignacio.canas@upm.es)

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid; E.T.S. Edificación; Departamento de Construcciones Arquitectónicas Construcciones y su Control, 28040 Madrid; [c.porras@upm.es](mailto:c.porras@upm.es)

**Resumen:** La zona de producción de vinos generosos conocida como Marco de Jerez cuenta con un tipo particular de bodegas, las “catedrales del vino”. Estos edificios de extraordinarias dimensiones que vivieron su apogeo durante el siglo XIX reciben su nombre por la similitud que muestran con los templos de la cristiandad. Este trabajo desvela el fenómeno de la estratificación vertical, a través de la monitorización de temperatura y humedad relativa a diferentes alturas. Los resultados del estudio demuestran que la estratificación vertical es notable en primavera y verano. En los meses más calurosos, las diferencias durante la tarde superan los 4°C y 15% HR en la zona de barricas, y los 15°C y 35% HR. considerando toda la altura de la bodega. Este comportamiento justifica las técnicas utilizadas en el sistema tradicional de crianza, situando el vino con más edad en la zona inferior. El diseño característico de las bodegas catedral hace posible estratificar el aire y proteger al vino de los incrementos de temperatura y las bajadas de humedad relativa; su comportamiento podría servir de inspiración y referencia para un diseño más eficiente de nuevas construcciones para la crianza del vino tinto.

**Palabras clave:** temperatura, humedad relativa, uniformidad vertical

### 1. Introducción

La zona de producción de los vinos de las denominaciones de origen «Jerez Xérès-Sherry» y «Manzanilla-Sanlúcar de Barrameda», conocido como Marco de Jerez, es testigo de la presencia de un tipo particular de bodegas, las conocidas como “Catedrales del Vino”. Estos edificios de extraordinarias dimensiones que vivieron su apogeo durante el siglo XIX reciben su nombre por la similitud que muestran con los templos de la cristiandad. Sus características arquitectónicas nacen del perfeccionamiento de los maestros bodegueros en la técnica enológica de la crianza de vinos bajo velo de “flor”.

Los Vinos Generosos que incluyen: finos, manzanillas, amontillados, olorosos y palos cortados; son vinos secos, con una graduación alcohólica superior a 15°. Los más exigentes en cuanto a condiciones de temperatura y humedad son los finos y las manzanillas, estos son criados en botas de madera de roble mediante el crecimiento en superficie de un velo microbiano heterogéneo, compuesto mayoritariamente por levaduras, sensible al mantenimiento de ciertas condiciones ecológicas, que mediante una proceso de crianza aeróbica le confiere a estos caldos unas características particulares. La técnica tradicional para la crianza de los vinos generosos se denomina de “criaderas y soleras”, basada en la supuesta estratificación existente en estas bodegas, siendo las botas ubicadas en las zonas más bajas (soleras) las de mayor calidad.

Históricamente se han descrito las excepcionales condiciones ambientales que se desarrollan en el interior de las Bodegas Catedral, como paradigma de la crianza biológica de vinos bajo vejo de flor,

La crianza biológica requiere unas condiciones ambientales muy sensibles y limitantes. Así, Bobadilla, G. postula que la temperatura debe conservarse entre 15 y 20° C [1]. García del Barrio Ambrosy hace unas recomendaciones microclimáticas en el interior de las bodegas, con un valor máximo de 25° C y mínimo de 12° C [2], ya que por encima o por debajo de estas temperaturas se produce la parada de la actividad microbiana; además afirma que “la humedad ambiental de la bodega, o sea la humedad relativa del aire es su interior, debe ser lo más alta posible y además lo más constante posible a lo largo del día, de la noche y del año,”. Lozano y Perdigonos realiza un seguimiento en una serie de bodegas del Puerto de Santa María encaminados a establecer las posibles relaciones entre el comportamiento de la flor en las botas y la evolución en las condiciones ambientales, concluyendo que con una temperatura ambiente de 18-20° C, el proceso de crianza será óptimo [3]. Yravedra afirma que la temperatura en el interior de la bodega debe oscilar entre 18-22°C [4].

A pesar de la importancia de las condiciones higrotérmicas en una correcta crianza bajo velo de flor, y del sistema de crianza basado en diferentes alturas de barricas, ningún estudio ha analizado en profundidad los gradientes existentes, como sí se ha hecho en bodegas para vino tinto [5]. Por ello, este trabajo desvela el fenómeno de la estratificación vertical, a través de la monitorización de temperatura y humedad relativa a lo largo del año.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Bodega monitorizada

La bodega está situada en San Lúcar de Barrameda. Consta de tres naves a dos aguas iguales entre ellas (Figura 1). Cada nave cuenta con una puerta en su fachada principal. Todas las fachadas contienen huecos en la zona superior y sin acristalar que proporcionan iluminación y ventilación natural.

Para su construcción se ha empleado un sistema estructural basado en elementos prefabricados de hormigón. Los pilares tienen una sección de 0,25 m x 0,60 m y una altura de 6 m. Sobre los pilares apoyan vigas inclinadas de canto variable que dan forma a la cubierta a dos aguas de cada nave. El canto de las vigas oscila entre los 0,95 m en su arranque hasta los 0,30 m en el centro del vano.

El pavimento de la nave es de hormigón en las zonas de tránsito y de terrizo de albero en las zonas destinadas al almacenamiento de las barricas, el cual ayuda a mantener la humedad de la nave y reducir la temperatura.

Sobre los pórticos apoyan correas metálicas y sobre éstas placas de fibrocemento.

El cerramiento de los muros se ha realizado con bloques huecos de hormigón enfoscado por las dos caras y finalmente encalado.

### 2.2. Sistema de monitorización

La monitorización se llevó a cabo utilizando registradores de la marca Hobo®, el Hobo Pro v2 de segunda generación y el Hobo de 4 canales. El modelo Hobo Pro es un registrador con sensores internos de temperatura tipo termistor y de humedad relativa tipo capacitivo. Presentan una capacidad de almacenamiento 43.526 (21.763 registros de temperatura y otros 21.763 de humedad relativa). El Hobo de 4 canales es un registrador al que se acoplan sondas de temperatura, con una capacidad de almacenamiento de 43.000 medidas.

La Tabla 1 resume las características más importantes del instrumental utilizado.

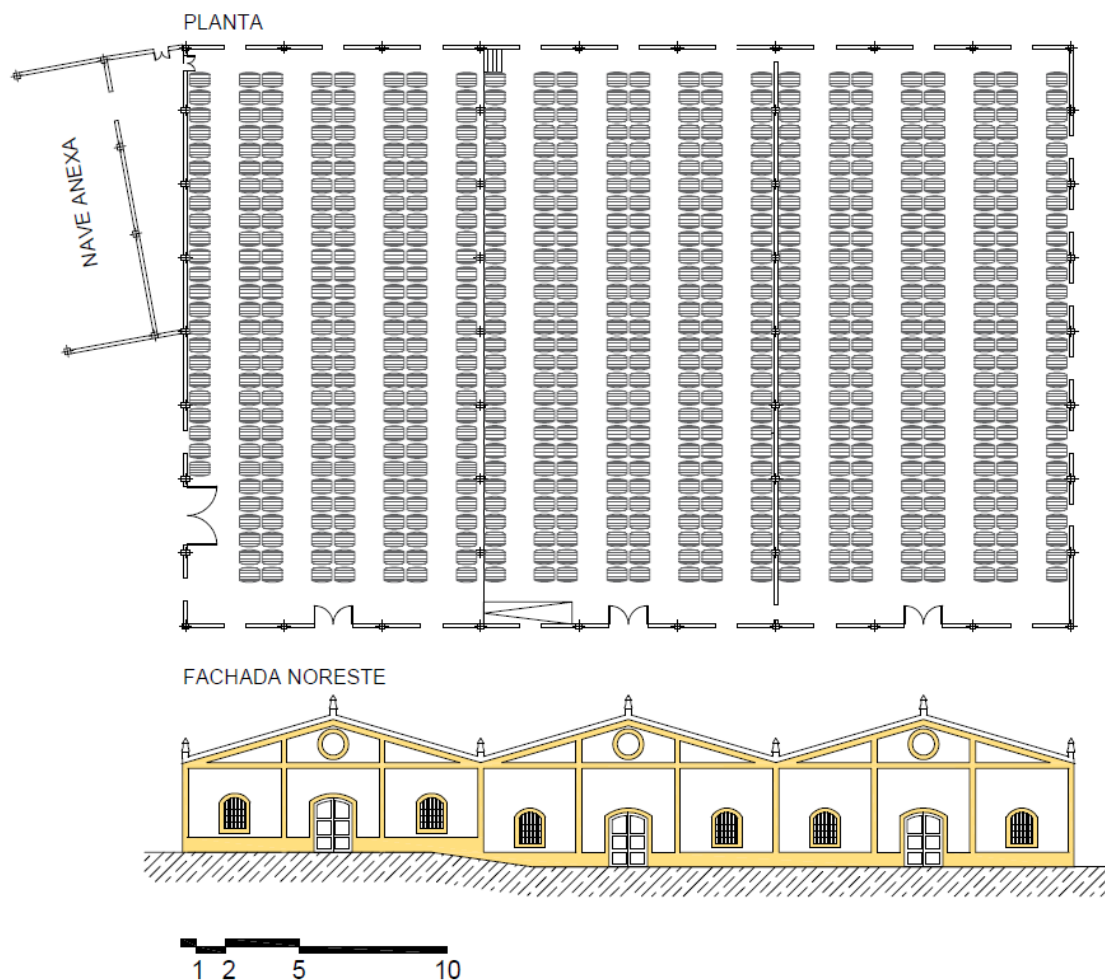


Figura 1. Planta y Alzado de la bodega.

Tabla 1. Características de los registradores y sensores utilizados

Equipo	Magnitud	Rango	Precisión	Resolución
Hobo® Pro v2	%HR	0% a 100%	± 2.5% de 10 a	0.03% HR
	T <sup>a</sup>	-40° a 70°C	90% ±0.18°C a 25°C	0.02°C a 25°C
Hobo® 4-Channel con sondas	T <sup>a</sup>	-20C° a 70°C	±0.25° a 20°C	0.03° a 20°C

El estudio se focalizó en dos de las naves, instalando tres líneas de medida de la estratificación vertical en cada una, y otros dos en la zona de separación de las mismas. En el centro de las 2 naves se monitorizó la temperatura y humedad relativa mediante 9 registradores Hobo Pro v2 en cada una, distribuidos equidistantemente entre el suelo y la zona próxima a la cubierta. En el resto de localizaciones sólo se monitorizó la temperatura mediante registradores Hobo con sondas, instalando entre 8 y 12 sensores en cada línea vertical. En total, 82 sensores de temperatura y 18 sensores de humedad.

### 2.3. Análisis de los datos

Los millones de datos obtenidos en la monitorización fueron analizados utilizando plantillas desarrolladas en VBA (Visual Basic for Applications) y herramientas de Microsoft Excel.

Teniendo en cuenta que la altura de colocación de los sensores varía ligeramente de unas líneas a otras, y que el número de sensores no es el mismo, es necesario interpolar para disponer de valores a la misma altura en todas las localizaciones. Para ello, en cada una de las ocho líneas de estratificación se llevó a cabo un análisis de regresión siguiendo una polinómica de cuarto orden ( $y = a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x^1 + a_0$ ), para cada uno de los 35040 instantes monitorizados a lo largo del año; en total, 280320 regresiones para temperatura con un  $R^2$  promedio de 0.96 y 70080 para humedad relativa con  $R^2$  promedio de 0.99.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Estratificación de temperatura

La figura 2 muestra el promedio diario de temperatura para diferentes alturas, a partir de los datos interpolados en las ocho localizaciones. La estratificación vertical es notable la mayor parte de primavera y verano, registrándose durante un gran número de días diferencias superiores a los 5°C entre el suelo y la zona próxima a la cubierta. Durante el otoño y el invierno el aire se homogeniza y la estratificación es mucho menor.

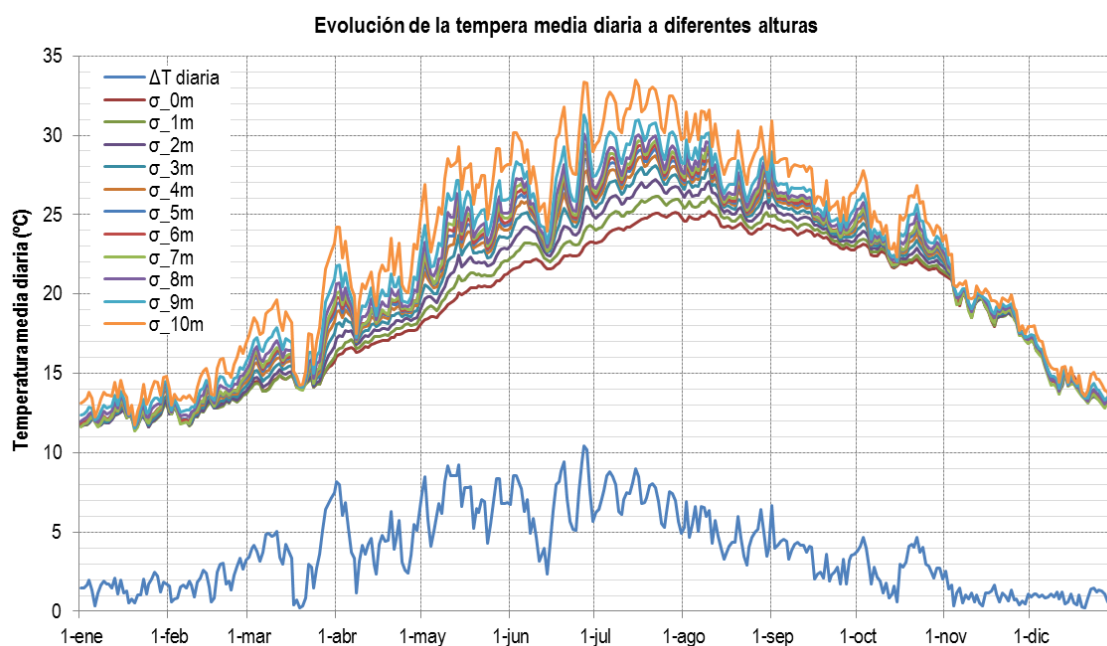
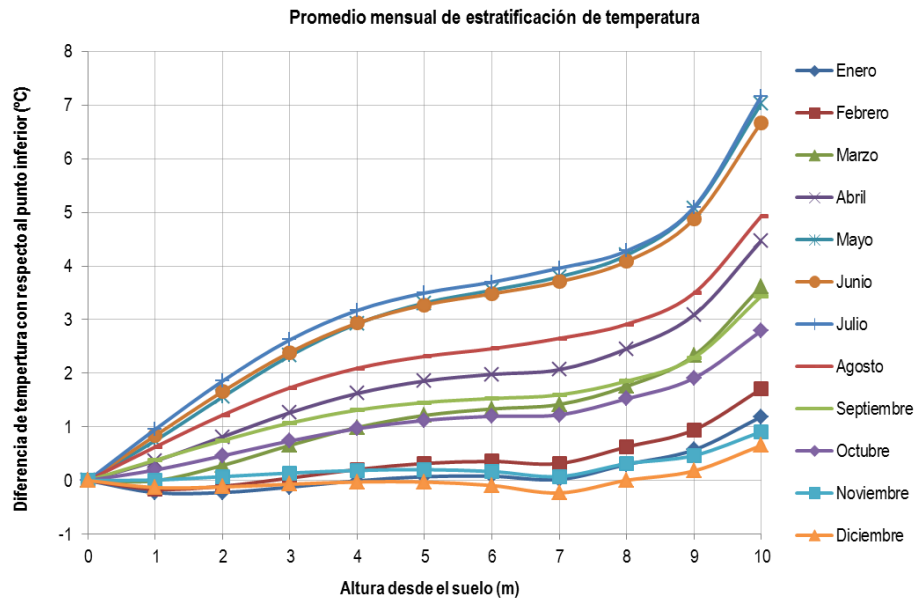


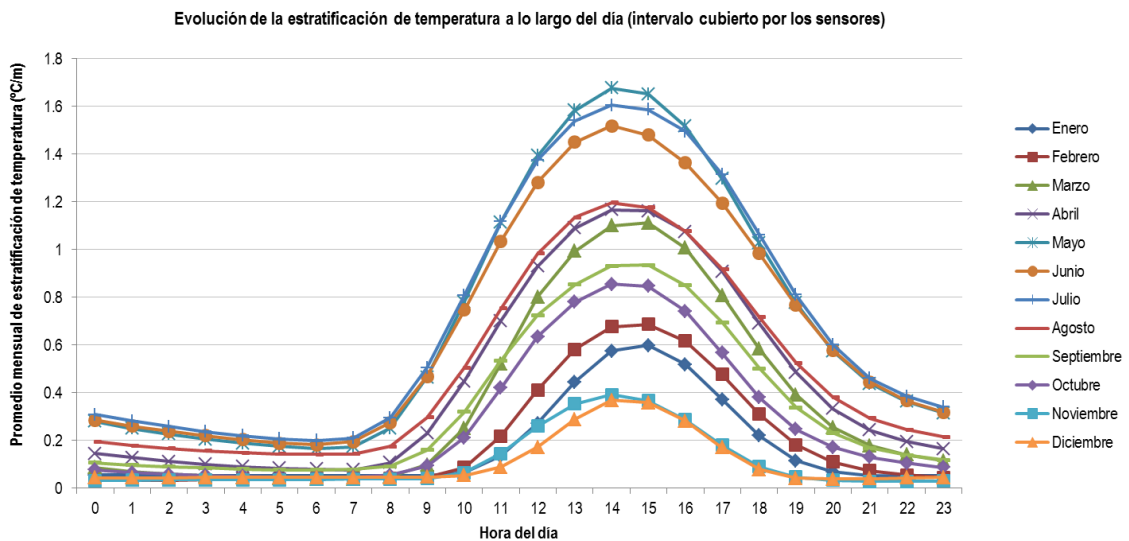
Figura 2. Evolución del promedio diario de temperatura interior a diferentes alturas.

Las botas de vino de niveles superiores están sometidas a mayores temperaturas que las inferiores durante varios meses, con diferencias superiores a los 2°C de media mensual durante el verano (Figura 3). Por encima de las barricas, a partir de 4 metros, la temperatura sigue aumentando, especialmente en la zona cercana a la cubierta.

No obstante, la estratificación también presenta grandes variaciones a lo largo del día, por lo que las diferencias durante las horas de la tarde (de 12h a 19h) son mucho mayores, superando los 4°C durante varios meses en la zona de barricas, y los 15°C considerando toda la altura de la bodega (Figura 4).



**Figura 3.** Promedios mensuales de estratificación de temperatura, tomando como referencia el sensor más cercano al suelo.



**Figura 4.** Evolución a lo largo del día de la estratificación media (°C por cada metro) considerando toda la altura de la nave (promedio mensual).

### 3.2. Estratificación de humedad relativa

El comportamiento de la humedad relativa es equivalente al de temperatura, aunque disminuye con el aumento del calor y de la altura (Figura 5). La estratificación es notable la mayor parte de primavera y verano, registrándose durante un gran número de días diferencias superiores al 10% de humedad relativa entre el suelo y la zona próxima a la cubierta. Durante el otoño y el invierno el aire se homogeniza y la estratificación es mucho menor.

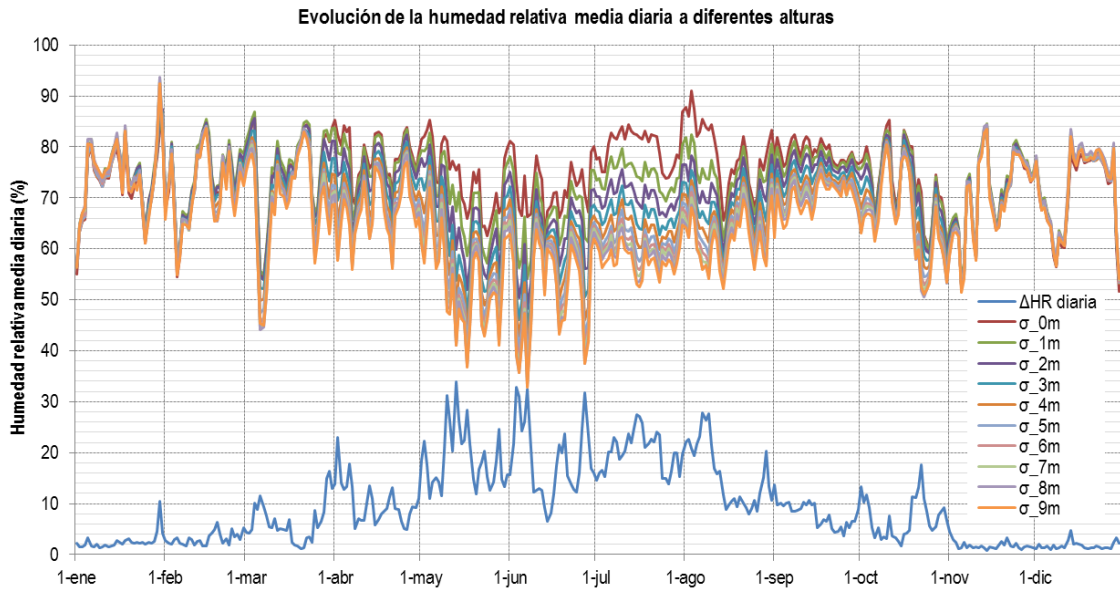


Figura 5. Evolución del promedio diario de humedad relativa interior a diferentes alturas.

Las botas de vino de niveles superiores están sometidas a menor humedad relativa que las inferiores durante varios meses, con diferencias superiores al 10% HR. de media mensual durante el verano (Figura 6).

La estratificación de humedad relativa también presenta grandes variaciones a lo largo del día, por lo que las diferencias durante las horas de la tarde (de 12h a 19h) son mayores, superando 15% HR. durante varios meses en la zona de barricas, y 35% HR considerando toda la altura de la bodega (Figura 7).

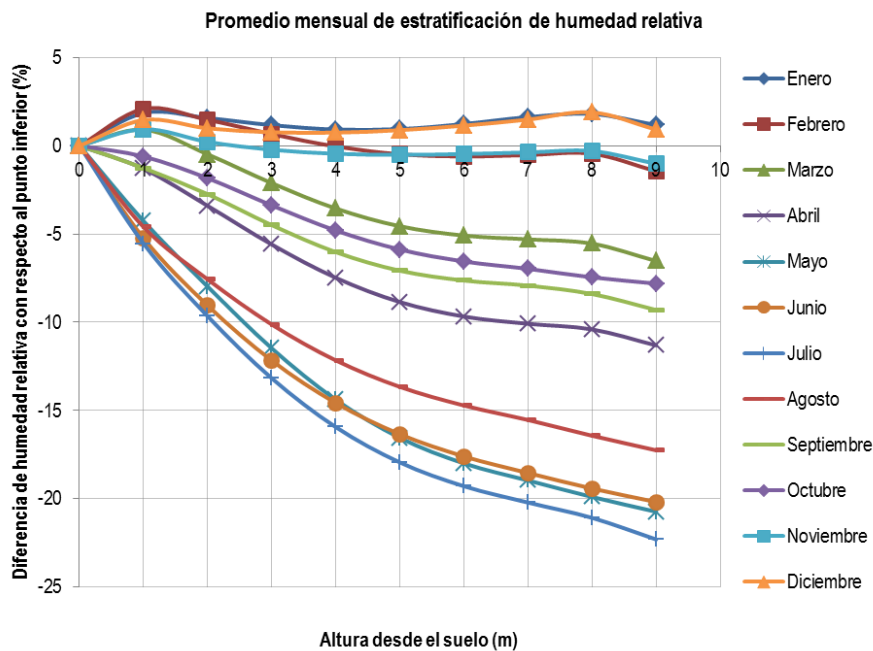


Figura 6. Promedios mensuales de estratificación de humedad relativa, tomando como referencia el sensor más cercano al suelo.

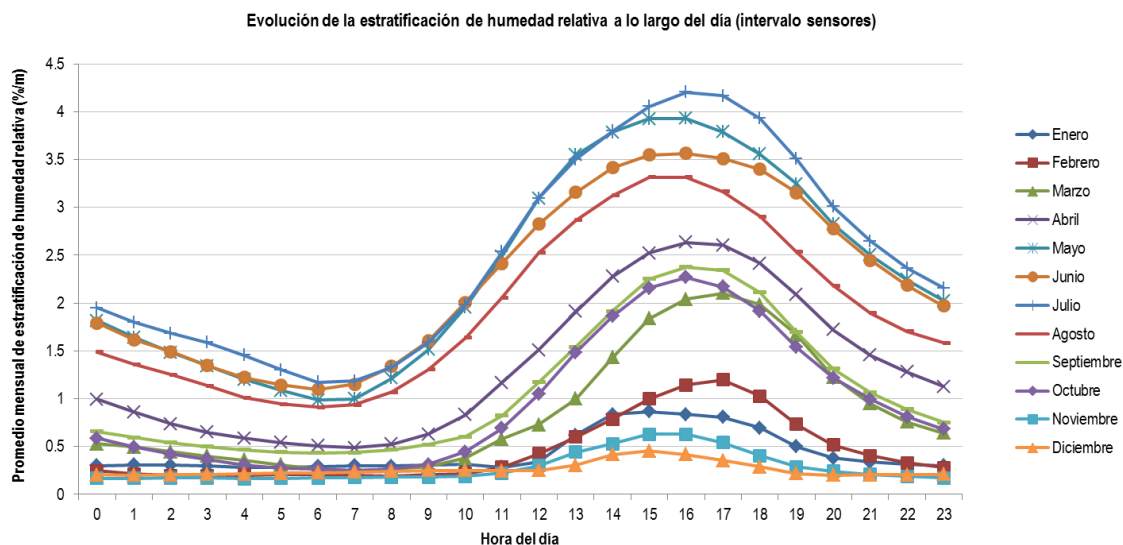


Figura 7. Evolución a lo largo del día de la estratificación media (% HR. por cada metro) considerando toda la altura de la nave (promedio mensual).

#### 4. Conclusiones

La estratificación vertical es notable en primavera y verano, especialmente durante las horas de la tarde. A lo largo de varios meses, las botas de niveles superiores están sometidas a mayor temperatura y menor humedad relativa que las del nivel inferior. En los meses más calurosos, las diferencias durante la tarde (de 12h a 19h) superan los 4°C y 15% HR en la zona de barricas, y los 15°C y 35% HR considerando toda la altura de la bodega.

Este comportamiento justifica las técnicas utilizadas en el sistema tradicional de crianza, situando en los niveles inferiores el vino más viejo y valioso. En muchos casos, vinos que no requieren crianza biológica (olorosos) se sitúan en el nivel superior.

Por encima de las barricas, a partir de 4 metros, la temperatura sigue aumentando y la humedad relativa disminuyendo, especialmente en la zona cercana a la cubierta. La gran altura de las “bodegas catedral” permite estratificar el aire y proteger al vino de los incrementos de temperatura y las bajadas de humedad relativa.

Las “bodegas catedral” pueden servir de inspiración y referencia para un diseño más eficiente de nuevas construcciones para la crianza del vino tinto.

#### 5. Agradecimientos

El presente estudio se ha podido realizar gracias al proyecto: “Estrategias de diseño bioclimático en bodegas como modelo de edificios de consumo de energía casi nulo”. Referencia: BIA2014-54291-R. Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad

#### Referencias

1. Bobadilla, G. F. Los vinos en la crianza biológica. Microbiología Enológica, Fundamentos en Vinificación. Mundi-Prensa. 1943. Madrid
2. García del Barrio Ambrosy, I. Las bodegas del vino de Jerez. Cuaderno Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 1984, 16.
3. Lozano, J.I. Perdigonos, F. Estudio de parámetros ambientales que condicionan la crianza del vino fino. V Jornadas Universitarias de Viticultura y Enología Jerez, 1989: p. 167.
4. Yravedra, S. M. J. Arquitectura y cultura del vino. Munilla-Lería. 2003.
5. Porras-Amores, C., Mazarrón, F. R. Cañas, I. Study of the Vertical Distribution of Air Temperature in Warehouses. Energies, 2014, 1193-1206