

## CONDICIONES HIGROTÉRMICAS DE FERMENTACIÓN DE VINOS COMUNES Y FINOS DE VARIEDADES BLANCAS Y TINTAS

A. Ramos Sanz<sup>1</sup>, I. Blasco Lucas<sup>2</sup>

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)  
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) - Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan – Argentina  
Tel.: +54(0)264 423 2395 / 3259 Int. 318 – Fax: +54(0)264 423 5397 – <http://www.irpha.com.ar>  
E-mails: [albitaramos@hotmail.com](mailto:albitaramos@hotmail.com) [iblasco@faud.unsj.edu.ar](mailto:iblasco@faud.unsj.edu.ar)

**RESUMEN:** Históricamente la actividad bodeguera ha jugado un rol fundamental en la economía de la provincia de San Juan, característica que aún conserva. Como en muchas industrias del rubro, el vino es el bien principal para el cual se generan las instalaciones que permitan alojar los procesos asociados a su transformación en un producto comercializable de alto valor agregado, requiriendo para ello el control de condiciones higrotérmicas adecuadas y demandando importantes consumos energéticos con este fin. Es objeto de la presente investigación realizar un diagnóstico de los umbrales ambientales necesarios en la etapa de fermentación, tanto teóricos (estipulados por expertos) como experimentales (a través de mediciones) para vinos comunes y varietales finos blancos y tintos. Como resultado se obtienen los márgenes existentes respecto a las condiciones teóricas, datos que serán de gran utilidad para definir mejoras constructivas y medidas pasivas tendientes a lograr una mayor eficiencia energética.

**Palabras Clave:** condiciones higrotérmicas, vinos, fermentación, bodegas

### INTRODUCCIÓN

El interés por conocer en forma específica los factores higrotérmicos que inciden en la elaboración del vino, ha motivado el abordaje de varias investigaciones. Entre ellas cabe mencionar la de Cañas Guerrero y Martín Ocaña (2005) realizada en las antiguas bodegas subterráneas de la localidad de Soria, en España, donde indagaron sobre el papel que desempeña la inercia térmica del suelo en las condiciones ambientales interiores de estos recintos enterrados, como también sobre los efectos correlativos que tienen las brisas en el aumento o descenso de la temperatura interior y en el descenso de la humedad, habiendo llegado a formular nuevos supuestos a partir de la medición de los fenómenos, que contradicen los conocimientos vigentes sobre los regímenes de transferencia térmica del suelo. Los resultados de estos autores demostraron la estabilidad elevada de las condiciones térmicas de una bodega inserta en una colina, donde las condiciones interiores en un día de verano oscilaron 0,8°C a una humedad constante del 100%, debida a la escasa ventilación. En una bodega subterránea la estabilidad térmica fue superior: las oscilaciones térmicas alcanzaron 0,4°C. Esto les permite afirmar que el cambio de las técnicas de construcción de las bodegas subterráneas a las bodegas superficiales es la causa del incremento del consumo energético en estas industrias.

Otros trabajos en la línea temática son los realizados por Asan y Sancaktar (1998); Bahadori y Fariborz (1985); Mihalakakou et al (1997) Unver y Agen (2003), quienes se han preocupado por demostrar las ventajas de la construcción vernácula subterránea en el ahorro de energía utilizada en el proceso de maduración y añejamiento del vino. Los autores aseveran que las condiciones estables de temperatura debajo de la tierra frente a las oscilaciones térmicas diarias en la superficie, hacen del subsuelo un recurso muy útil en verano para conseguir un efecto refrigerante y en invierno para obtener temperaturas más cálidas y constantes que las exteriores.

El foco de la presente investigación se centra en la determinación de los umbrales higrotérmicos que delimitan las condiciones adecuadas en la etapa de fermentación de vinos comunes y varietales finos, blancos y tintos, y en el análisis del clima rural y urbano de lugares donde se localizan bodegas en la provincia de San Juan, Argentina, entendiendo que es el conocimiento básico y fundamental para la definición de medidas constructivas que contribuyan al ahorro energético.

Los tipos de vino seleccionados son los tradicionalmente elaborados en San Juan, superando en volúmenes al mosto, como asimismo al *champagne*, los vinos *frizzé*, *les grans cús*, los abocados y vinos especiales. El proceso del vino común se maneja con parámetros térmicos más amplios que los requeridos por el vino fino, el cual exige un control riguroso de su temperatura.

Se abordan las bodegas elaboradoras que constituyen los ámbitos de fermentación del vino, por ser características de San Juan, cuya producción suele venderse a las bodegas fraccionadoras, motivo por lo cual no cuentan con sectores de fraccionamiento y expedición integrados a sus instalaciones (DRI; 1993).

Las bodegas de la zona en estudio responden a tipologías industriales altamente energético-dependientes, y se caracterizan por contar con espacios por lo general de grandes dimensiones destinados a las distintas etapas que implica el proceso de

<sup>1</sup> Becaria CONICET (BPTII). Investigadora Adscripta. Doctorando del Doctorado en Arquitectura de la Universidad de Mendoza.

<sup>2</sup> Directora de beca. Investigadora Categoría I en el Programa Nacional de Incentivos. Directora del Proyecto PIC21A843 (CICITCA-UNSJ) en el marco del cual se realiza el presente trabajo.

elaboración hasta obtener el producto comercializable. En el proceso, es de gran importancia la etapa correspondiente a la fermentación por la relevancia que tiene en la misma el control de las condiciones ambientales del vino, por sobre aquellas relacionadas con requerimientos de confort para el trabajo humano, debido a su bajo régimen de ocupación. Por ejemplo: en una bodega de cuatro millones de litros desempeñan las tareas de molienda como máximo ocho empleados, quienes permanecen en el lugar esporádicamente en el período de verano, cantidad que se reduce durante el resto del año cuando sólo se realizan tareas de limpieza y mantenimiento. Mediante información relevada en tres muestras, se verificó que el operario tiene escasa influencia sobre las demandas energéticas, las cuales son propias de los diferentes procesos de vinificación. De esta manera las condiciones higrotérmicas están definidas por los requerimientos ambientales de los agentes encargados de transformar la uva en vino: las levaduras, enzimas y bacterias.

Cabe destacar que en Argentina, la industria de alimentos y bebidas consume un 25% del total de recursos energéticos nacionales (INDEC, 2000) y la gran concentración de bodegas se encuentra principalmente entre las provincias de Mendoza y San Juan (INV San Juan; 2009) alcanzando 1450 establecimientos vitivinícolas, diversificados entre bodegas elaboradoras, de conservación, de fraccionamiento y mosteras.

## LA VINIFICACIÓN

La vinificación puede ser entendida como una serie de pasos en los cuales la uva se transforma en vino. Cuando la uva ingresa en el establecimiento industrial, se conocen de antemano los procesos requeridos para transformarla en vino. Se podría simplificar el proceso en cinco pasos (Fig.1). Durante la recepción de la uva, el racimo es volcado en la tolva, desde donde se traslada hacia su segunda instancia: la extracción del mosto. Con este fin, la uva es prensada para los vinos blancos, y es triturada para los vinos tintos. La fermentación alcohólica es el proceso común a toda clase de vinos, y es cuando se produce la digestión del azúcar contenido en el jugo de uva por las levaduras, obteniendo como resultado alcohol etílico, dióxido de carbono y otros compuestos menores que le confieren al vino sus propiedades sensoriales. Abreviando procesos, la estabilización del vino se realiza antes del embotellado, refinando al vino y clarificándolo de partículas en suspensión. Finalmente el vino se embotella y se expide al mercado.

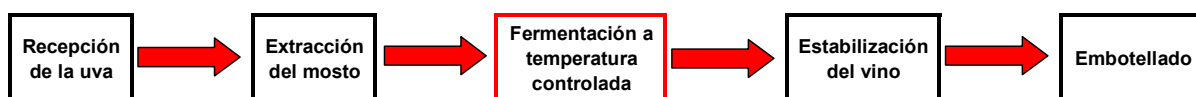


Fig. 1. Esquema de los pasos requeridos para la vinificación.

Las levaduras son microorganismos mesófilos, es decir que el consumo del azúcar y su posterior reproducción se lleva a cabo en condiciones particulares de temperatura y humedad relativa, dependiendo del tipo de vino a elaborar. En la actualidad la tecnología domina el proceso de elaboración del vino, que presenta una creciente automatización.

Los depósitos o vasijas vinarias son los contenedores de vino, sus funciones son diversas: proveer frío o calor, higiene y hermeticidad. Los vinos finos se pueden obtener mediante vasijas de diversa naturaleza: de acero inoxidable, de madera, de PVC y de metal. La característica de estos elementos es su poca capacidad (inferior a los 30000 litros) y la integración con el sistema de frío-calor, dado que necesitan condiciones térmicas controladas mediante sensores de temperatura que monitorean los diferentes procesos. Las vasijas para vino común disponen de capacidades superiores a los 30000 litros y pueden ubicarse a nivel, sobre-nivel y enterradas, debido a que sus materiales constructivos son los mismos que los utilizados en cualquier construcción tradicional (ladrillo, hormigón, acero, etc.). Estos materiales se caracterizan por ser más resistentes al paso del tiempo y por su elevada capacidad específica, ofreciendo -según sea el espesor- cierta amortiguación y retardo de la onda térmica.

## METODOLOGÍA

Para la caracterización del clima del lugar se trabajó con registros mensuales de los valores máximos, promedios y mínimos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa de la Provincia de San Juan, para zonas urbana y rural (Papparelli et al., 2011), de un período de once años, desde el mes de Enero de 1993 hasta el mes de Diciembre de 2004. Se seleccionaron aquellos meses en los cuales se desarrolla la fermentación en la Provincia de San Juan – Febrero, Marzo, Abril y Mayo- y se elaboró una tabla síntesis conteniendo los valores medios, máximos y mínimos de temperatura y humedad en cada mes.

Se realizaron una búsqueda bibliográfica y entrevistas a expertos para determinar los umbrales de las condiciones higrotérmicas teóricas requeridas durante la fermentación de vinos comunes y varietales finos, blancos y tintos. Las fuentes consultadas fueron: Simone (2005a, 2005b, 2005c), Mendoza (2008), y Oreglia (1978). Para las entrevistas se elaboró una encuesta-guía semi-estructurada y se seleccionaron tres Enólogos con vasta y reconocida experiencia en la provincia de San Juan (Badías Carpentier, Vargas y Romero, 2010). Para lograr datos consistentes se contrastaron los obtenidos de la bibliografía consultada con los brindados por los expertos, dialogando con ellos sobre los resultados no coincidentes, hasta la determinación fundamentada de los valores correctos. Finalmente se elaboró una tabla síntesis y se delimitaron zonas en un diagrama psicrométrico, diferenciadas según tipo de vino. Para la verificación de los umbrales, se llevó a cabo una etapa experimental consistente en mediciones realizadas con 14 dataloggers HOBO U12 T12 localizados en los espacios y diferentes tipos de vasijas comúnmente utilizadas pertenecientes a dos bodegas ubicadas en zonas rurales de la Provincia de San Juan. Las lecturas de temperatura, humedad relativa e iluminación se registraron cada media hora durante el período comprendido entre el 1 de marzo y el 20 de abril de 2011, mientras tuvo lugar el proceso normal de fermentación de los vinos.

El procesamiento de las mediciones se realizó con la herramienta PROMEDI.HTL (Blasco Lucas, 2007). Sobre los diagramas de dispersión y de evolución temporal se dibujaron las zonas teóricas y se obtuvo la zona real con los puntos de mayor frecuencia y densidad, para una buena calidad de producto, contando de este modo con umbrales reales, que también se llevaron al diagrama psicrométrico, estableciendo así los márgenes de variación posible de los mismos. Superponiendo las

figuras teóricas, experimentales y climáticas en la carta psicrométrica se establecieron los valores relativos de tiempo que el clima del lugar responde a las condiciones higrotérmicas necesarias durante el proceso de fermentación de los distintos tipos de vino, como también aquellos en que necesita calor o frío auxiliar. Se asocian a estos requerimientos los principios básicos de Watson (1983) para la incorporación de estrategias bioclimáticas según los meses en que se produce la fermentación de cada tipo de vino.

### CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Se diferenciaron dos tipos de zonas: rurales y urbanas. Esta clasificación es útil para la investigación, ya que los establecimientos industriales se caracterizan históricamente por estar implantados en ambas. La mayoría de las bodegas que se encuentran en áreas urbanas -particularmente San Juan Capital- restringen su trabajo a la conservación del vino nuevo (de elaboración anual) y viejo. Dado que las etapas de molienda y fermentación tienen lugar durante el verano, se tomaron en cuenta los meses de Febrero a Mayo. Las temperaturas exhiben amplitudes térmicas mensuales que varían entre de 10,40 °C y 12,45°C en la ciudad y entre 12,20 °C y 13,40°C en el campo. La temperatura más elevada alcanza un promedio de 31,25°C en el mes de Febrero, en zona rural. Mayo muestra temperatura mínima promedio de 6,6°C tanto para áreas rurales como urbanas. Las zonas rurales se caracterizan por una elevada humedad relativa; respecto de los valores máximos promedio, durante el período supera el 77,9%. Febrero es uno de los meses más secos, llegando a un mínimo promedio de 22,95% en humedad relativa. La temperatura más baja (6,6°C) registra una humedad relativa de 89,5%.

PARÁMETRO	ZONA		FEB	MAR	ABR	MAY	
T°máx	urbana	°C	31,05	27,80	22,90	18,70	
	rural		31,25	28,50	23,20	19,50	
T°mín	urbana		18,60	17,40	10,70	6,60	
	rural		17,85	16,30	10,70	6,60	
HRmáx	urbana		%	53,80	61,40	62,30	65,60
	rural			77,90	83,60	86,10	89,50
HRmín	urbana	26,30		33,20	34,10	37,70	
	rural	22,95		31,20	32,00	35,20	

Tabla 1: Promedios mensuales de temperatura y humedad relativa en zona urbana y rural (1993-2004) (Papparelli y Kurbán, 2011) durante los meses de molienda y fermentación del vino.

La gran diferencia entre ambas zonas consiste en la humedad relativa máxima, que para la rural durante el período alcanza y supera el 80%, en cambio, las temperaturas mínimas representan entre uno o dos grados menos que para las zonas urbanas. El caso se invierte en las máximas, en donde la zona rural supera entre uno y dos grados a la zona urbana. En conclusión, prevalece una amplitud térmica mayor en las zonas no urbanizadas. Otro factor de interés radica en que las temperaturas máximas y mínimas en una zona y en otra se dan con demoras de un mes, lo cual incide al momento de definir la adecuación temporal de estrategias bioclimáticas.

### CASOS DE ESTUDIO

Las mediciones se realizaron en vasijas vinarias que se destinan a fermentación y conservación, y para distinguirlas rápidamente se les asignó un código que permite reconocer dicha función, la forma (cilíndricas, rectangulares), su relación con el entorno (aisladas, entre piletas), ubicación (superficial, subterránea), materialidad (hormigón, sillería de ladrillos, adobe, metal, acero inoxidable) y capacidad de almacenamiento (poca, mediana, alta). Las mismas se encuentran en dos bodegas que se seleccionaron como Casos de Estudio para la parte experimental, situadas en zonas rurales. En ambas se llevan a cabo las etapas de elaboración y conservación del proceso de vinificación. Su ubicación y características generales se detallan en la Tabla 2 y en las Figs. 2 y 3.

CASO	DEPARTAMENTO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)	TIPO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (años) *	TIPOS DE VINO
1	Santa Lucía	-31°34'	-68°26'	603	1850 a 1990	Común y Varietal
2	25 de Mayo	-31°49'	-68°13'	558	1990 a la actualidad	Finos Varietales y Premium

Tabla 2. Ubicación y características generales de las bodegas seleccionadas como Casos de Estudio (\* Bórmida, 2001)

En el Caso 1 las temperaturas de fermentación son tomadas en laboratorio y se controlan mediante equipos de refrigeración por agua perdida. Este sistema consiste en la toma de agua de pozo mediante bombas, la cual se hace caer en forma de lluvia sobre un serpentín de acero inoxidable dentro del cual circula el mosto en fermentación. La bodega dispone de un tinglado metálico, abierto en sus cuatro lados, el límite físico entre el vino y el ambiente exterior lo constituyen las vasijas de vinificación, materializadas en hormigón. En el Caso 2, se elaboran vinos de alta gama en volúmenes controlados y asistidos por equipos de frío automatizados, en vasijas de chapa metálica y de acero inoxidable, ubicadas dentro de un galpón cerrado con mampostería de ladrillón y carpintería metálica.



Fig. 2. Localización de los Casos de Estudio con Google Earth: Vista aérea del Caso 1 (Izq.) y del Caso 2 (Der.).

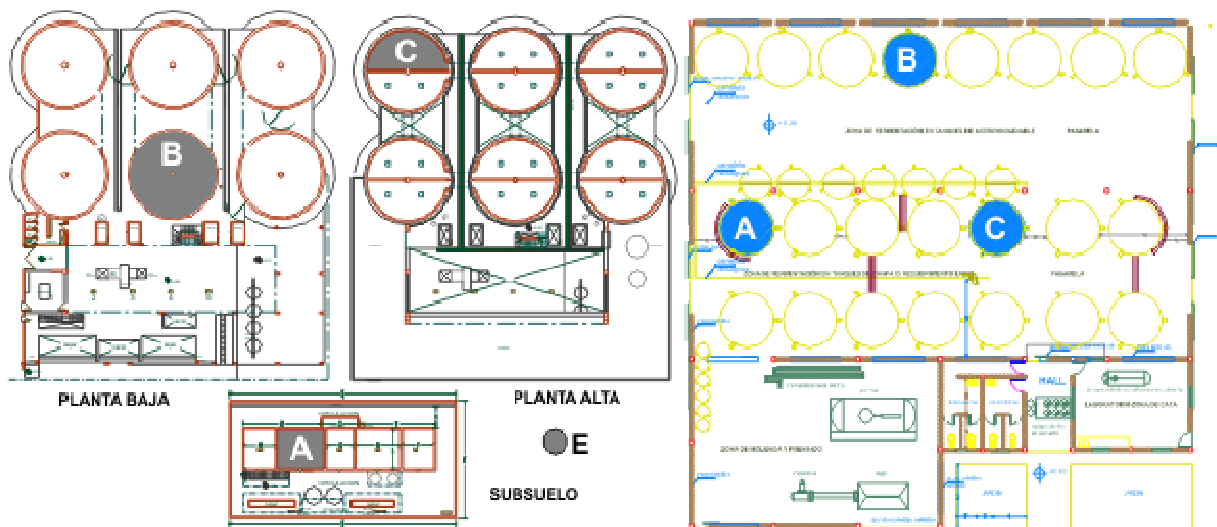


Fig. 3. Piletas de fermentación donde se ubicaron dataloggers, con gris en el Caso 1 (Izq.) y con celeste en el Caso 2 (Der.).

### DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES HIGROTÉRMICOS TEÓRICOS

En la Tabla 3 se especifican las condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas para la elaboración del vino común y del vino fino, ambos en sus variedades tintas y blancas, obtenidos a partir de consultas bibliográficas y a expertos.

PROCESO TÉRMICO DE VINIFICACIÓN	TIEMPO (días)	TIPO DE OPERACIÓN	TEMPERATURAS					
			VINO COMÚN		VINO FINO			
			BLANCO	TINTO	VARIETAL		Premium Ultrapremium	
				BLANCO	TINTO	BLANCO	TINTO	
FERMENTACIÓN (tumultuosa y lenta)	4 a 7	Alcohólica	18 - 23°C	24 - 35°C	18 - 20°C	24 - 31°C	18 - 20°C	30 - 31°C
	7 a 10	Malo-Alcohólica			25 - 30°C			
	7 a 10	Malo-Láctica			20 - 26°C			
MACERACIÓN	7	a T° Ambiente			22°C			
		T° constante T° progresiva			20 - 37°C			

Tabla 3. Umbrales teóricos de las condiciones de temperatura por tipo de vino y procedimiento.

Las instancias de elaboración consideradas en la Tabla 3 son las etapas de fermentación alcohólica, fermentación malo-alcohólica, fermentación maloláctica y maceración, que suelen ser procesos paralelos o muy seguidos a la fermentación. La duración total de estos trabajos no excede los quince días generalmente, pudiendo extenderse a criterio del enólogo.

El vino se ha clasificado en: vino común o de mesa y vino fino, el cual a su vez se subdivide en varietal y fino Premium o Ultrapremium. Esta distinción se debe a que algunas empresas suelen elaborar vinos finos de altísima calidad, y existen

diferencias en los requerimientos de temperatura con respecto a los finos varietales. La humedad relativa recomendada por la bibliografía constituye un valor del 75%.

### MONITOREO DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES

Se eligieron vasijas de distintas formas, materiales, ubicaciones y capacidades, a los efectos de contemplar las diferencias de comportamiento, principalmente en el caso de vinos comunes. Las características de las vasijas monitoreadas se describen en la Tabla 4. Los dataloggers para mediciones externas se colocaron protegidos con tubos de cartón pintados de blanco en zonas cercanas a las vasijas situadas bajo un tinglado metálico en el Caso 1, y en el Caso 2 todas se encontraban en ambiente techado y cerrado con muros perimetrales. Los dataloggers ubicados en el interior de las vasijas se suspendieron en el espacio comprendido entre la superficie del líquido y la tapa. La Fig. 4 muestra a la izquierda los valores estadísticos de temperatura en el Caso 1 y a la derecha, en el Caso 2, con las zonas comprendidas entre los umbrales teóricos.

Caso	Ubicación	Código	Ambiente	Forma planta	Relación	Nivel	Material	Capacidad (Its)
1	E	E	Exterior					
	A	ESHVc2	Cisterna	Rectangular	Entre vasijas	Subterránea	Hormigón armado	30000 a 150000
	B	ASHVf3	Pileta	Circular	Aislada	Superficial	Hormigón armado	<30000
	C	ESHVf2	Pileta	Circular	Entre vasijas	Superficial	Hormigón armado	30000 a 150000
2	E	E	Exterior					
	A	ESSIm	Sala de máquinas	Rectangular	Aislada	Superficial	Ladrillón	
	B	ASMxVf1	Tanque	Circular	Aislada	Superficial	Acero Inoxidable	>150000
	C	ASMchVf1a	Tanque	Circular	Aislada	Superficial	Chapa	>150000
	D	ASMchVf1b	Tanque	Circular	Aislada	Subterránea	Chapa	>150000

Tabla 4. Características de las vasijas monitoreadas.

Existe una notable diferencia entre la cisterna rectangular y las otras dos piletas en el Caso 1, cuyas temperaturas son superiores a pesar de estar enterrada. Esto se debe a la ubicación de la misma, que queda permanentemente expuesta al sol proveniente de las orientaciones más desfavorables. Al tratarse de vasijas que se encuentran en un ambiente interior, en el Caso 2 las tres muestran un comportamiento coincidente inclusive con el de la sala de máquinas durante todo el período monitoreado, con excepción de la última semana en que se producen algunos desfasajes.

En ambos Casos se observa que los valores medidos no se ajustan en forma precisa dentro de los límites fijados por los umbrales teóricos, lo cual indicaría que en la práctica se producen desviaciones como márgenes admisibles.

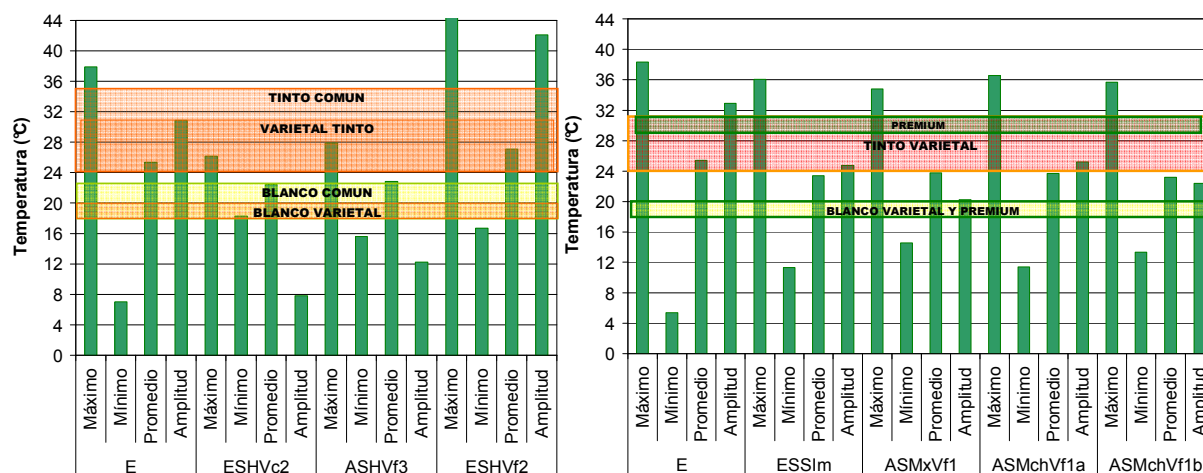


Fig. 4. Resumen de los valores estadísticos de temperatura en el Caso 1 (Izq.) y el Caso 2 (Der.).

Las áreas delimitadas corresponden a temperaturas de fermentación para vinos comunes y vinos finos –varietal y Premium-. Puede observarse que los valores promedios registrados por los sensores, superan los parámetros máximos definidos para el caso de la fermentación de vinos blancos comunes y finos. Los valores promedio para la fermentación de vinos tintos finos y varietales relevados en el Caso 2 son inferiores que los límites mínimos establecidos en la bibliografía. Esto puede tener relación al desempeño automatizado y seguimiento constante del equipo de climatización.

De todas maneras el monitoreo incluye aquellos momentos en los cuales se llevaron a cabo trabajos de limpieza de las vasijas, en donde la temperatura no se encontraba bajo control mecánico. Los promedios registrados en la fermentación de vinos blancos varietales y finos superan en ambos establecimientos los umbrales teóricos. Esto indica que la práctica de la vinificación de los vinos blancos contempla temperaturas más elevadas aún cuando se dispone del monitoreo constante de los equipos de frío.

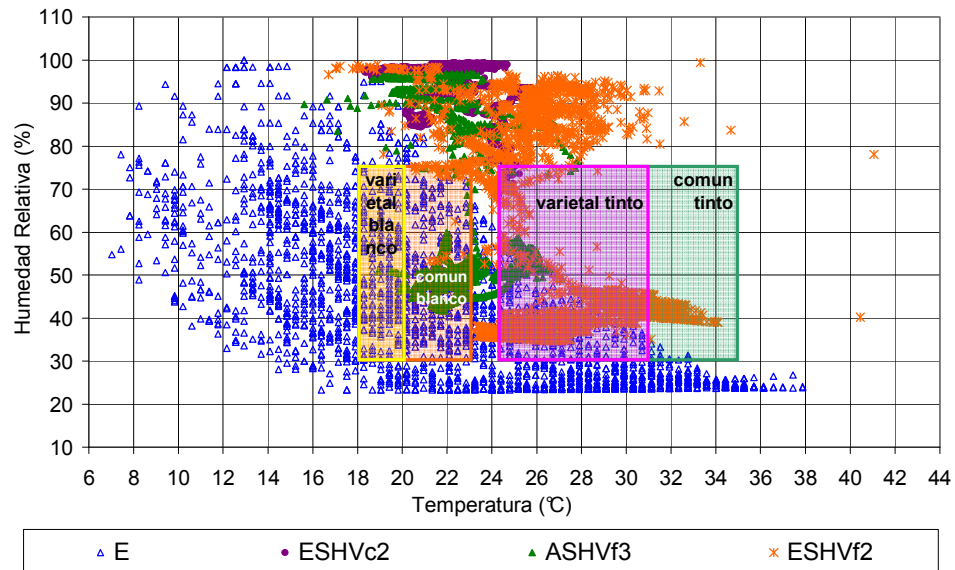


Fig 5. Diagramas de dispersión de temperatura y humedad relativa del Caso 1.

En las Figs. 5 y 6 se observa que las vasijas de los vinos elaborados han conservado valores de humedad relativa entre 23,5% y casi 100%, mientras que los rangos de temperatura fueron desde los 18°C hasta superar en algunas instancias los 33°C. La tendencia es elaborar a temperaturas más bajas, con humedad relativa alta. Los porcentajes de humedad recomendados superan entre un 15 y un 20% las condiciones interiores de humedad relevadas. En este caso existe una variedad morfológica y de ubicación interesante de las vasijas, la ASHVf3 es cilíndrica y se encuentra en la planta baja de la bodega, a la sombra permanente; la vasija ESHVf2 es semicilíndrica y se encuentra en el nivel superior, expuesta al asoleamiento del este, norte y oeste; la ESHVf2 es un paralelepípedo ubicado a nivel de sótano, sin contacto con brisas ni incidencia de los rayos solares. La vasija que mayor oscilación térmica demostró fue ESHVf2, lo cual podría vincularse al factor forma. Tanto esta vasija como la ASHVf3 responden a valores muy amplios de humedad relativa, que van desde un 35-40% hasta el 100%. En el caso de la vasija subterránea, la humedad mínima registrada es elevada (65%) y la máxima alcanza el 100%. Las vasijas subterránea y cilíndrica presentan condiciones apropiadas para la fermentación de vinos comunes blancos y vinos varietales blancos. La vasija semicilíndrica, responde a temperaturas elevadas, siempre superiores a los 23°C, siendo adecuada para la fermentación de vinos comunes y varietales tintos.

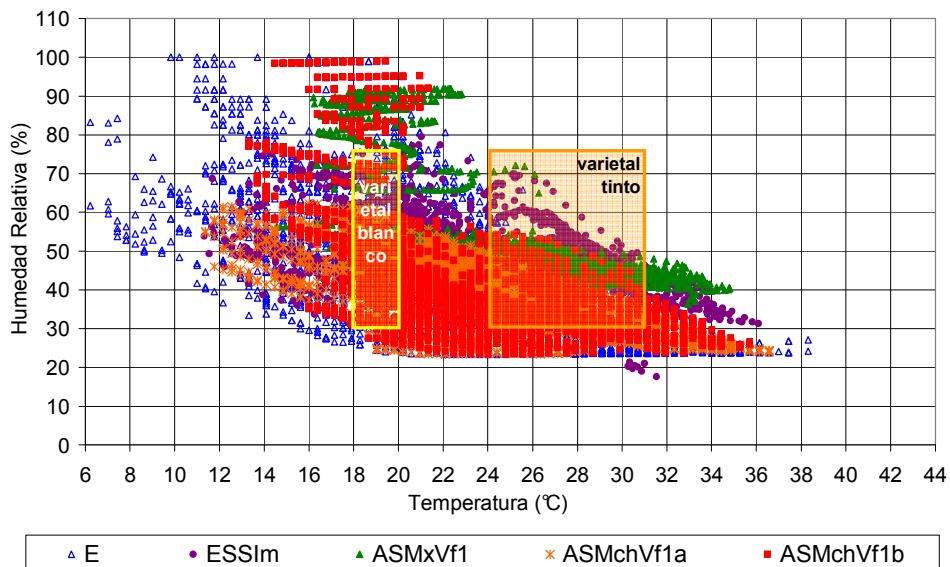


Fig. 6. Diagramas de dispersión de temperatura y humedad relativa del Caso 2.

La Fig. 6 muestra que las vasijas de chapa (ASMchVf1a y ASMchVf1b) se caracterizaron por un marcado descenso de la humedad relativa. La vasija de acero inoxidable (ASMxVf1) conservó los valores de humedad constante –de 40% a 55%–, a pesar de los grandes rangos térmicos manejados, entre los 17°C y los 33°C. Esto puede deberse a la característica hermeticidad de estos recipientes automatizados. El sensor de la sala de máquinas (ESSIm) da cuenta de las condiciones higrotérmicas en el interior de la bodega; que se aproximan bastante a las de las vasijas. En algunos momentos del día la temperatura en la sala de máquinas es superior a la temperatura exterior y ello puede deberse al aporte del calor sensible de las maquinarias y al calor latente y sensible cedido por el mosto previo su enfriamiento prefermentativo.

## UMBRALES EMPÍRICOS SOBRE LA CARTA PSICROMÉTRICA

Se han obtenido los valores de temperatura de fermentación de vinos comunes y finos de bodegas elaboradoras asentadas en la provincia de San Juan. Estos valores son útiles para delimitar la zona de condiciones adecuadas de fermentación de distintos tipos de vino en el diagrama psicrométrico, en combinación con los valores correspondientes a la humedad relativa. En la Tabla 5, se sintetizan las temperaturas de fermentación registradas en las diferentes vasijas monitoreadas. En la última fila se han promediado todos los valores, los de la temperatura recomendada en la bibliografía y las entrevistas, y los valores promedio de todas las temperaturas empíricas. Las temperaturas se subdividen en menos o más probables, cuya distinción se estableció por las gráficas obtenidas en el registro de los sensores en las cuales se observa una densidad mayor de datos comprendidos dentro de ciertos rangos comunes.

TEMP DE FERMENTACIÓN (°C)	MAS PROBABLE		MENOS PROBABLE	
	media máx	media mín	máx	mín
ASHVf3	26	20,8	27,9	18,7
ESHVf2	30	23,5	34	17
ASMchVf1a	30	20	35,7	13,3
ASMchVf1b	27,9	12	36,6	11,4
ASMxVf1	32	18	34,8	14,6
Recomendada promedio	27	22,71	31	18
PROMEDIO	28,8	19,5	33,33	15,5

Tabla 5. Valores estadísticos empíricos de temperaturas de fermentación.

Volcando los valores promediados en la Tabla 5 sobre una carta psicrométrica y definiendo una humedad relativa establecida en 75% máximo y un 30% mínimo, se delimita en la Fig. 7 la zona de condiciones higrotérmicas empíricas para vinos comunes en fermentación, y en la Fig. 8 para vinos finos. Los umbrales que la definen corresponden a los valores de mayor frecuencia, mientras que aquellos de menor frecuencia se adoptan para definir los márgenes permisibles para lograr una buena calidad de producto. A efectos comparativos se incorporan en la figura también los valores teóricos recomendados.

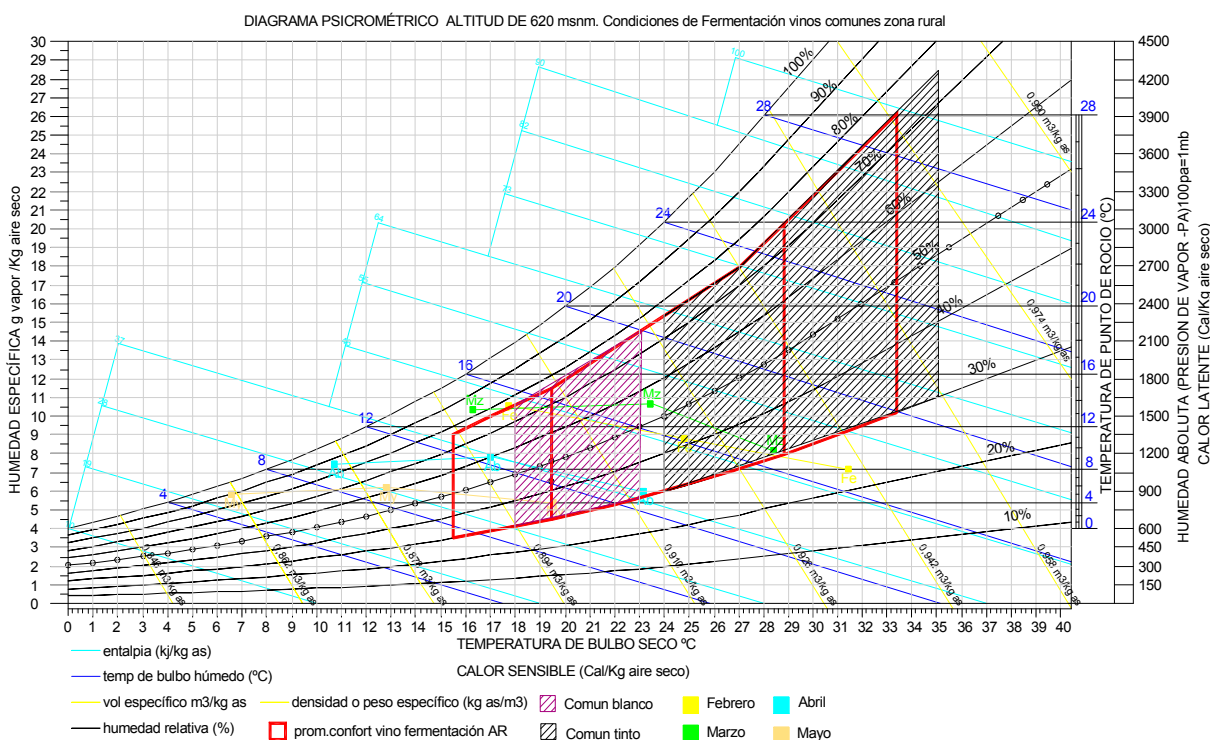


Fig. 8. Delimitación sobre diagrama psicrométrico de las zonas de condiciones higrotérmicas adecuadas para vinos comunes, con los umbrales empíricos obtenidos.

Según Donald Watson (1983), las estrategias de diseño bioclimático se basan en cuatro principios básicos:

- 1- Admitir calor de fuentes externas al edificio;
- 2- Rechazar calor de fuentes externas al edificio;
- 3- Contener y conservar el calor existente en el edificio;
- 4- Disipar al exterior el calor existente en el edificio.

Para el clima de San Juan, cabría agregar:

- 5- Humidificar, y
- 6- Recurrir a medios de climatización mecánica.

En este orden de razonamiento y a partir del análisis de las Figs. 7 y 8, se elabora la Tabla 6 para resumir las observaciones realizadas y asociar los principios cuya aplicación resultaría más apropiada para la fermentación de los vinos comunes, y la Tabla 7 para los vinos finos, ambos en sus variedades blancas y tintas.

MES	% ENTRE UMBRALES		PRINCIPIO APROPIADO		OBSERVACIONES
	blanco	tinto	blanco	tinto	
<b>Fb</b>	40	30	2-4	3-5	Las máximas diurnas y las mínimas nocturnas superan los límites de confort. Sería conveniente en el caso de los tintos conservar el calor sin generar mayores ganancias externas y simultáneamente humidificar. Para los blancos, en este período es conveniente rechazar el aporte de calor y disipar las ganancias producidas en horas diurnas.
<b>Mz</b>	40	45	2-4	1-3-5	Esta es el mes ideal para vinificar en zona rural, constituyendo el mayor % dentro de la zona delimitada, para todas las variedades de vinos comunes.
<b>Ab</b>	40	-	3	1-3-5	Buenas condiciones diurnas para la vinificación de blancos. En los tintos, al incrementar la temperatura mediante ganancia solar, sería necesario humidificar.
<b>My</b>	25	-	1-5	5-6	Las condiciones exteriores de temperatura y humedad relativa son inferiores a las requeridas por los procesos fermentativos de todos los vinos comunes. Para la vinificación en blanco sería necesario un aporte de calor significativo. Para los tintos las condiciones higrotérmicas de este mes no permiten más que medios mecánicos para alcanzar los requerimientos de fermentación. Al incrementar el calor sensible, habrá que humidificar el aire también.

Tabla 6. Resumen de las observaciones realizadas y principios apropiados para favorecer la fermentación de vinos comunes, en sus variedades blancas y tintas.

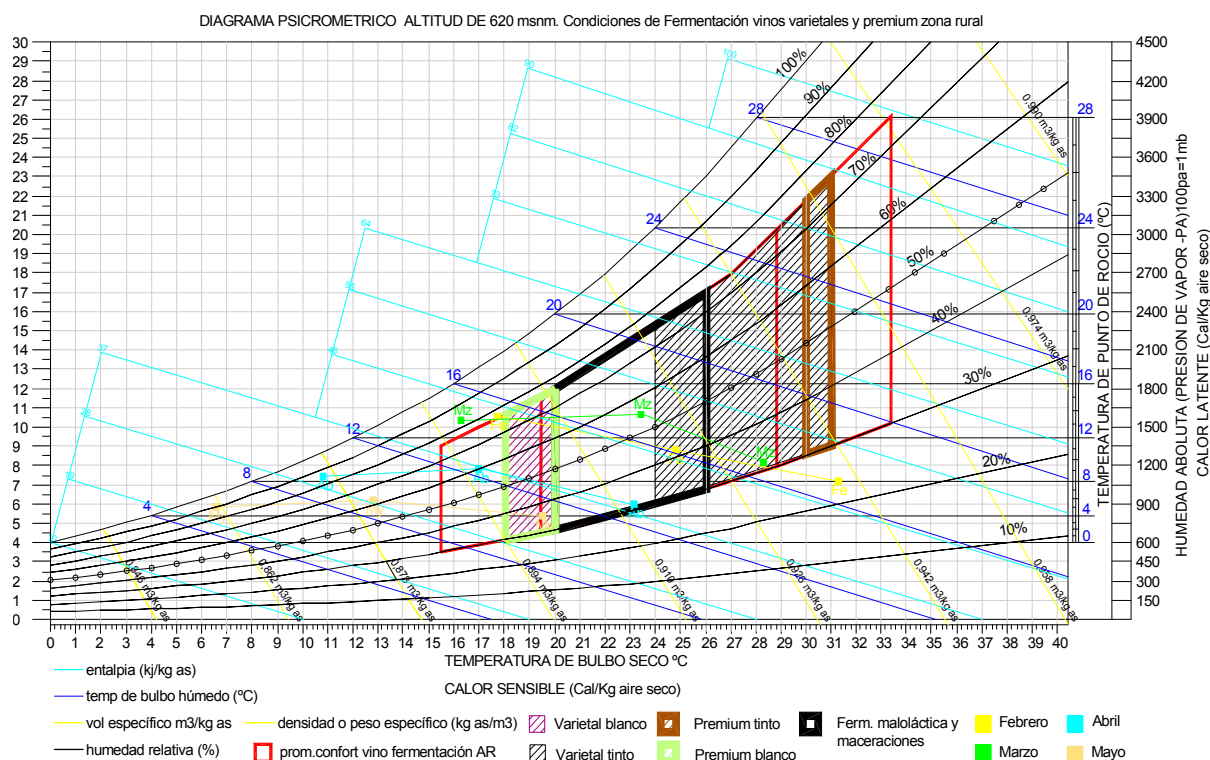


Fig. 8. Delimitación sobre diagrama psicrométrico de las zonas de condiciones higrotérmicas adecuadas para vinos finos, con los umbrales empíricos obtenidos.



MES	% ENTRE UMBRALES				PRINCIPIO APROPIADO				OBSERVACIONES
	blanco		tinto		blanco		tinto		
	v	p	v	p	v	p	v	p	
<b>Fb</b>	20		45	-	2		3-5	1-5	Esta es la temporada idónea para la fermentación de los vinos tintos, debido a las temperaturas elevadas requeridas para extraer color, pero debe promoverse un mayor porcentaje de humedad.
<b>Mz</b>	20		45	-	2		1-3-5	1-5	Además de compartir la observación anterior, este periodo no requiere de humidificación.
<b>Ab</b>	20		-	-	1-3		5-6	5-6	Mediante aporte solar y conservación del calor se pueden alcanzar condiciones de fermentación a bajas temperaturas, poco adecuado para vinificaciones en tinto ya que se requiere de sistemas mecánicos que aporten calor.
<b>My</b>	15		-	-	1-3		5-6	5-6	El aporte de calor no está garantizado de forma pasiva, ya que las temperaturas registradas en este mes son bajas.

Tabla 7. Resumen de las observaciones realizadas y principios apropiados para favorecer la fermentación de vinos finos, en sus variedades blancas y tintas.

## CONCLUSIONES

Puede determinarse a partir del análisis realizado, que el mes de Febrero presenta las características climáticas ideales para la fermentación de vinos comunes tanto blancos como tintos. Entre los finos, solamente el vino varietal tinto es recomendable para vinificar en esa época, con implementación de pocas acciones bioclimáticas. El mes de Marzo ha resultado ser óptimo para la fermentación de los vinos varietales tintos principalmente, mientras que Abril lo es para la fermentación de los vinos blancos comunes. Este mes es inadecuado para la fermentación de vinos que requieren mayor temperatura como los comunes tintos y los finos varietales y Premium tanto blancos como tintos. El mes de Mayo es inapropiado casi siempre para cualquier fermentación que desee optimizarse con medios pasivos.

El procedimiento desarrollado para determinar los umbrales que delimitan las zonas de condiciones higrotérmicas apropiadas para la fermentación de vinos comunes y varietales finos, blancos y tintos, se basa tanto en valores de temperatura recomendados en la bibliografía específica de enología, y por expertos, como también empíricos obtenidos a través de monitoreos en dos Casos de estudio de vinificación en San Juan.

En el caso de la definición de umbrales de bienestar higrotérmico humano existen sólidas investigaciones Aroztegui (1995), Givoni (1981) o Steve Szokolay (1998) (Sol Sampedro; 2006), que consideran incluso otras variables en la determinación de la temperatura neutra. Estas formulaciones son interesantes ya que integran valores de temperatura, humedad, velocidad del viento, etc. correspondientes al clima de la zona así como valores establecidos por la fisiología humana, como los parámetros definidos en METs. El estudio aquí presentado guarda alguna analogía con los mismos en cuanto a la idea e instrumentación general, pero orientado a un producto de alto valor agregado para la región, que está condicionado por los requerimientos de los microorganismos propios de la vinificación. Existen escasos antecedentes de indagaciones en esta orientación, el actual trabajo brinda una base fundada para futuras profundizaciones y ampliaciones del tema.

## REFERENCIAS

- Asan H., Sancaktar Y. (1998). Effects of walls thermofisical properties on time lag and decrement factor. *Energy and Buildings* 60, pp. 159-166.
- Badias Carpentier A., Vargas R., Romero J. (2010) Encuesta guía semi-estructurada.
- Bahadori M., Fariborz H. (1985). Weekly storage of coolness in heavy bricks and adobe walls. *Energy and Buildings* 8, pp. 259-270.
- Blasco Lucas I., Hoesé L., Pontoriero D. (2007). Procedimiento "PROMEDI-HTL-V3" para análisis comparativos de mediciones higrotérmicas y lumínicas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 11., pp. 08.01-08.06.
- Cañas Guerrero I., Martín Ocaña S. (2005). Study of the thermal behaviour of traditional wine cellars: the case study of the area of Tierras Sorianas del Cid (Spain). *Elsevier, Renewable Energy* 30, pp. 43-55.
- Cennamo M., Di Palma P., Ricciardelli A. (2000). Rural architecture between artificial intelligence and natural intelligence. *Renewable Energy* 19, pp. 7-15.
- Instituto de Desarrollo Rural (1999). Caracterización de la cadena agroalimentaria de vitivinicultura de la Provincia de Mendoza.
- Mihalakakou G., Santamouris M., Lewis O., Asimakopoulos D. (1997). On the application of the energy balance equation predict ground temperature profiles. *Solar Energy* 60, pp. 181-190.

- Moretti-Baldín G. (2008). Historia, Historiografía y gestión cultural del patrimonio vitivinícola de Mendoza. APUNTES, Vol 21, núm 1, pp. 114-135.
- INDEC (2000). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ministerio de Economía-Encuesta Industrial Anual.
- INV (2009). Listado de bodegas elaboradoras de San Juan. Instituto Nacional de Vitivinicultura San Juan.
- Oreglia F. (1978). Enología teórico-práctica. Capítulo XI: Cualidades de las levaduras e influencia del medio, pp. 185-204. Ediciones Instituto Seliciano de Artes Gráficas, Buenos Aires.
- Papparelli, A.; Kurbán, A. (2005). Efectos de la edificación en la variación histórica y espacial del clima urbano en zona árida. Proyecto de Investigación Triannual, código 21/A310, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.
- Simone R. A. (2005a). La refrigeración y los fenómenos en el vino. El Vino y su Industria N°34, pp. 32-40.
- Simone R. A. (2005b). Compuestos Volátiles y el detrimento de la calidad del vino El Vino y su industria N° 36, pp 35-40.
- Simone R. A. (2005c). Oxidación del vino, Impacto sobre las características organolépticas. El Vino y su Industria N° 33, pp. 22-30.
- Smith F. (2005). Wineries of the future, cutting energy use. The Australian and New Zealand grape grower and winemaker. N° 497.
- Sol Sampedro F. (2006). Estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Oaxaca y zona conurbana. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.
- Unver B., Agen C. (2003). Application of heat transfer analysis for frozen food storage caverns. Tunnelling an Underground space Technology 18, pp.7-17.
- Watson D., Labs K. (1983). Climate Design. Mc Graw Hill Co. Nueva York, Estados Unidos.

**Nota:** El contenido del artículo ha sido elaborado por la Arq. Alba Ramos Sanz en el marco de su Tesis Doctoral para la Universidad de Mendoza, con la participación de su Directora de beca, MSc.-Arq. Irene Blasco Lucas.

**ABSTRACT:** Winemaking activity is still playing its historical fundamental role in the economy of the San Juan province. As in many industries for the category, wine is the primary asset for which are generated facilities to host the processes associated with its transformation into a marketable product with high added value, requiring only the control of appropriate hydrothermal conditions and demanding significant energy consumption for this purpose. To reach a diagnosis of environmental thresholds needed in the fermentation stage, both theoretical (provided by experts) and experimental (through measurements) for common and fine wines, white and red, is the aim of this research work. As a result existing margins are obtained regards the theoretical conditions; becoming useful data to define constructive improvements and passive measures tending to achieve a higher energy efficiency.

**Key words:** hydrothermal conditions, wines, fermentation, winery.