

# Eficiencia energética en envoltantes de vinificación: estudio comparativo de casos de nuevas tecnologías vs tradicionales<sup>1</sup>

## Winemaking envelopes energy efficiency: new technologies vs. traditional comparative study cases

A. I. Ramos

Recibido: junio 22 de 2021 – Aceptado: junio 15 de 2022

**Resumen**— El presente trabajo aborda un estudio de casos comparativo entre dos tecnologías de tanques de vinificación, nuevas y tradicionales, con el fin de determinar el comportamiento energético de los modelos de producción del vino, en relación con el clima de la zona vitivinícola considerada. Se aborda el proceso de vinificación más común y energéticamente intensivo de las bodegas; la fermentación del mosto durante el período de verano. Mediante datos empíricos obtenidos con observación simple registrada con sensores de temperatura, procesados con softwares estadísticos, se establecen estadígrafos, distribuciones de probabilidad, correlaciones y modelos lineales bivariados. Con esta información se determina la tasa energética de cada modelo tecnológico productivo. Desde los diversos enfoques considerados, los resultados obtenidos indican que la nueva tecnología de envoltante de fermentación presenta una mayor tasa energética por unidad de producto (kWh/L) que la tecnología de envoltante tradicional, y que esta diferencia se asocia a las temperaturas de la zona climática de estudio.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, vinificación, tecnologías, envoltante, clima.

**Abstract**— The present work deals with a comparative case study between two technologies of winemaking tanks, new and traditional ones, to determine the energetic performance of wine production models in relation to the climate zone. The wineries' most common and energy-intensive winemaking process is

addressed; fermentation of the must during summer. Using empirical data obtained by simple observations with temperature sensors, processed with statistical software, coefficients of variation, probability distribution, correlations, and bivariate models. With this information, the energy rate of each productive technological model is determined. From different approaches, the results obtained in the interior temperatures of both technological models indicate that the new fermentation envelope technology presents a higher energy rate per unit of product (kWh / L) than traditional envelope technology, and that difference is explained by outsider temperature from the climatic study area.

**Keywords:** Energy Efficiency, winemaking, technologies, envelope, climate.

### I. INTRODUCCIÓN

EN el sector industrial la tendencia parece inclinarse hacia la mayor automatización de los procesos, acompañada de un incremento en la dependencia energética, que a largo plazo puede verse beneficiada por la trazabilidad y digitalización, factores que permitirían un crecimiento sostenible de la industria. En América Latina la realidad de las industrias se encuentra a medio camino de este horizonte; el caso particular que se analiza en este trabajo aborda la vinificación, la cual en Argentina ha transitado una transformación tecnológica significativa desde el año 2002 en adelante, luego de una profunda crisis económica. Los bienes de capital de mayor importación durante el período de expansión de la industria nacional fueron maquinaria agrícola, materiales y equipos eléctricos y electrónicos [1]. Durante ese período, en Sudamérica el crecimiento de la industria argentina duplicó al crecimiento de Brasil [2]. La industria tradicional argentina (alimentos, bebidas, cueros) incrementó el volumen de exportación de un 10 % en 1990 a un 27 % sostenido durante cinco años, entre 2003 y 2008 [3].

En Argentina, el 50 % del vino producido es exportado, el restante es consumido por el mercado interno [4]. Durante décadas el modelo productivo se basó en la demanda de consumo interno de vinos de calidad intermedia, los cuales se producen en grandes volúmenes. La apertura del país al mercado global demandó productos de mayor calidad, debiendo reestructurar desde cepas, pasando por equipamiento industrial, hasta estrategias de marketing y comercio exterior

<sup>1</sup>Producto derivado del proyecto de investigación Etiquetado de Eficiencia Energética Integral de Envoltantes de uso industrial para vinificación (2021-2026).

A.I. Ramos, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA-CONICET), dependiente de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan (FAUD-UNSJ), San Juan, Argentina. Email: aramosanz@faud.unsj.edu.ar.

**Como citar este artículo:** A. I. Ramos. Eficiencia energética en envoltantes de vinificación: estudio comparativo de casos de nuevas tecnologías vs tradicionales, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 16, no. 31, pp. 25-32, enero-junio 2022. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.1845>.



[5]. El nuevo modelo productivo instalado con mayor fuerza en la zona vitivinícola del Valle de Uco -Provincia de Mendoza-, responde en parte a la tendencia internacional, mediante la cual se elaboran reducidos volúmenes de vinos, de mayor calidad. Si bien la demanda internacional de vinos argentinos creció considerablemente, siendo Argentina uno de los principales países exportadores de vino del mundo con el 3,2 % del volumen total elaborado, la demanda interna decreció, pero se mantuvo en el largo plazo [6].

En concordancia con la historia productiva nacional, en el país coexisten actualmente y en mayor proporción al menos dos modelos tecnológicos productivos bien definidos: bodegas elaboradoras de vinos finos y varietales y bodegas elaboradoras de vinos comunes y varietales (INV; 2018). Como consecuencia de esta divergencia productiva, los establecimientos de producción discontinua destinados a vinos de mayor calidad, equipados en maquinaria y tanques de acero inoxidable, proliferaron por las principales áreas vitivinícolas de Argentina, particularmente en la Provincia de Mendoza. Mientras, los establecimientos tradicionales elaboradores de vinos básicos e intermedios se mantuvieron dispersos entre las provincias de Mendoza y San Juan, y en el presente -a pesar de las tendencias tecnológico -productivo mencionadas- el 68 % del vino elaborado en el país se fermenta y estabiliza en tanques cuyas envolventes son de hormigón armado y/o ladrillón reforzado, representativos del viejo modelo de vinificación [7].

Dentro del sector industrial argentino, el subsector de alimentos y bebidas presenta demandas energéticas equivalentes al 25% del total de la energía final utilizada por la industria nacional [8]. Respecto del tipo de energía secundaria empleada, se alcanza el 43 % del consumo total de electricidad frente al 38 % del consumo total de gas distribuido en red. En los principales países vitivinícolas las bodegas comprenden también el segundo grupo industrial de mayor demanda energética en el sector de alimentos y bebidas. El pico de demanda energética de la industria del vino a nivel global se estima en 105 PJ – alrededor de  $29.16 \cdot 10^9$  kWh-, emitiendo cerca de 16 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalentes (TonCO<sub>2</sub>eq) [9].

La mayor demanda energética en vinificación se manifiesta durante la etapa de fermentación, proceso estacional que suele extenderse en un período entre uno y tres meses al año [10] y que coincide con la estación más cálida. El resto del tiempo las bodegas trabajan en la estabilización del producto envasado en botella o guardado en barricas o en los mismos tanques en los cuales se elaboraron, dependiendo de los recursos tecnológicos de cada industria. La fermentación es un proceso de elevada demanda energética estacional, dada la gran carga térmica necesaria para mitigar el efecto exotérmico del proceso de transformación del azúcar en alcohol. En el análisis realizado en [10], el seguimiento térmico de una muestra de vinos en fermentación arrojó valores de temperatura máximas para vinos comunes – blancos- de 26,9°C y un poco más elevadas para los tintos, de 30,1°C. Entre las temperaturas mínimas se definen 20,3 °C en el primer caso y 21,1 °C en el segundo. Los rangos definidos como óptimos para vinos blancos fueron de 23,6°C +/- 3,3 K y para vinos tintos 25,6°C +/- 4,5 K.

En el mundo, las zonas productoras de vino están

asentadas entre los 30° y los 40° de latitud Sur y los 30° a 50° de Latitud Norte. En el Reino Unido -sobre los 40 ° de latitud Norte-, el 44 % de la energía utilizada en vinificación, se destina al trabajo de los equipos de control térmico y ventilación. En esta región, la demanda energética media de la producción de vinos alcanza los 0.55 kWh/L, variando en un amplio rango definido entre 0.04 kWh/L y 2.06 kWh/L [11]. En estas latitudes las bajas temperaturas medias – entre 11°C y 13 °C- afectan a la fermentación disminuyendo la acción de las levaduras, demandando sistemas de control térmico que introduzcan calorías al proceso fermentativo. En Argentina (34° Meridiano Oeste, 64° Latitud Sur) dado el clima continental de las regiones vitivinícolas –temperaturas medias cercanas a los 30°C- durante la época de molienda, se produce el efecto contrario, en el cual la fermentación alcanza su límite térmico superior y demanda frigorías. En ambos hemisferios, el control térmico en fermentación es energéticamente intensivo y relativamente dependiente del clima del lugar. Como se sabe, debido al calentamiento global las predicciones para el año 2100 sobre el aumento de la temperatura media del planeta oscilan entre un mínimo de +1,8°C y un máximo de +4°C. Publicaciones internacionales [12] advierten sobre el impacto del calentamiento global en las zonas vitivinícolas de Argentina y Chile, en dos escenarios A2 y B2 (establecidos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC; 2019) en los cuales se espera un aumento de entre +1°C y +2°C para el año 2050 [13]. Este fenómeno promueve un desplazamiento de los cultivos de vid hacia zonas donde las temperaturas son un poco más templadas; desde el hemisferio sur más hacia al sur y los cultivos en el hemisferio norte, un poco más hacia el norte [14]. Sin embargo, la capacidad instalada de vinificación y los cultivos de vid se han desarrollado hasta la actualidad en zonas geográficas cada vez más afectadas por el calentamiento global. Hasta bien la infraestructura y los cultivos comiencen a desplazarse fuera de los actuales límites productivos de vid, la producción de vino continuará llevándose a cabo en sitios en los cuales se observan progresivas alteraciones térmicas que impactan en el proceso de vinificación y particularmente en la demanda energética en control térmico.

Como mencionan Vargas, J. et al (2020) *cuando se desea efectuar modificaciones en los procesos de producción para el mejoramiento del mismo (...) es necesario realizar comparaciones que permitan determinar si las inversiones que se ejecuten serán eficientes* [15]. Efectivamente, en este trabajo se espera determinar la tasa energética de producción de vino, originada por la interacción de la envolvente de vinificación con el clima y el grado de correlación entre ambas variables, a fin de cuantificar la demanda energética y su explicación en el entorno climático. Se espera obtener la rampa variación de la temperatura de fermentación (interior) de la envolvente para los dos modelos tecnológicos productivos característicos de la industria vitivinícola de la zona de estudio. Con el fin de determinar la dependencia energética de cada una de las tecnologías respecto del clima, se persigue establecer la distribución de probabilidad de los datos de temperatura interior para cada caso analizado, de manera de efectuar predicciones respecto de las posibles temperaturas de fermentación que pueden darse ante una variación de la temperatura del clima.

## II. METODOLOGÍA

Se lleva a cabo una investigación cualitativa a partir de un estudio de casos comparativo de dos modelos tecnológicos diferentes, insertos en un mismo entorno climático. Un modelo tecnológico que representa la infraestructura de fermentación de bodegas de países con tecnología de vinificación desarrollada (Chile, Estados Unidos, Francia, España y Australia), y el otro modelo tecnológico representan la tecnología de vinificación predominante de las bodegas argentinas. Para el estudio, se selecciona la tipología de vino varietal –de calidad intermedia entre vino fino y común–, obtenido en ambos tipos de modelos productivos. Para identificar cada modelo tecnológico, se lleva a cabo un estudio observacional simple en el cual se relevan las instalaciones de dos bodegas localizadas en la zona vitivinícola del Valle del Tulum, en la Provincia de San Juan, Argentina.

Los datos registrados con sensores se organizan en planillas de cálculo Excel® y se procesan con el software estadístico R®. Se determinan las funciones de probabilidad para los conjuntos de datos empíricos registrados y se define la distribución de densidad para cada conjunto de datos (2449 datos para cada  $T_w$  y para  $T_e$ ) de las envolventes de ambos modelos tecnológicos considerados. Se obtienen algunos estadísticos de las muestras, como la media muestral y la desviación estándar de la muestra, con lo cuales se desarrolla el modelo de regresión lineal simple bivariado con una componente estocástica.

*Caracterización del Clima:* El valle del Tulum, donde se asienta la ciudad de San Juan, se ubica a 600 msnm, en los 30° 52' de Latitud Sur y 68° 59' de Longitud en dirección Oeste y se define como un clima cálido-árido. En esta zona árida la temperatura media en verano alcanza los 26,4°C con máximas de 38°C y amplitudes térmicas diarias superiores a los +/- 14 K. A lo largo del año, los vientos son de dirección predominantemente Sur. La velocidad de estos se duplica en verano, alcanzando una media de 13 Km/h [8]. El efecto de la radiación solar es otro determinante en la carga de frío de las agroindustrias **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.;** en verano, los sensores HOBBO U12 T12 instalados en el predio de estudio, registran una intensidad de hasta 850 W/m<sup>2</sup> en horas del mediodía. En esta época, los aportes solares son significativos sobre el plano horizontal y este-oeste. En invierno, las superficies orientadas al norte reciben los rayos directos durante más horas y mayor intensidad que las demás orientaciones.

*Casos de Estudio:* Los sistemas productivos se pueden caracterizar por la tecnología de los equipos eléctricos y por la tecnología de la envolvente o tanques de fermentación.

### A. Tecnología de los equipos eléctricos.

Los modelos productivos se pueden definir a partir de la calidad perseguida para el producto, volumen elaborado, continuidad del trabajo mecánico y tecnología, en donde se caracteriza el tipo de recurso utilizado en control térmico y los tanques fermentadores. Los sistemas de producción continua (Modelos productivo-tecnológicos Representativos de la Región; MTPR, Fig.1) trabajan las 24 horas; la marcha se detiene brevemente para realizar tareas de limpieza. En los sistemas de producción discontinua (Modelos productivo-

tecnológicos Nuevos; MTPN, Fig.2) la marcha se detiene varias veces al día para limpiar la zona de trabajo, entre carga y descarga de bins. Como se mencionó en la introducción, los MTPR son abundantes en Argentina y los MTPN son representativos de la tendencia hacia una modernización tecnológica estratégica en las empresas vitivinícolas locales con mayor competitividad.



Fig.1. Fermentador MTPR (Concrete). Expuesto a intemperie.

Respecto del abordaje del proceso, se comprenden las tareas de vinificación ejecutadas desde la molienda hasta la estabilización del vino. Las tareas de fraccionamiento y expedición no son consideradas dado que, en Argentina la mayor densidad de volumen elaborado no se fracciona en las bodegas (INV; 2018), por lo cual en su mayoría los establecimientos de vinificación no presentan estos ámbitos integrados a la infraestructura principal.

Estos volúmenes de vino son despachados de las industrias a granel, para proveer a las grandes empresas fraccionadoras y a otras bodegas. Asimismo, los establecimientos seleccionados para este análisis son netamente productivos, no disponen de áreas administrativas, lo cual facilita la determinación de la demanda energética neta en elaboración de vino.

Los equipos eléctricos se distinguen según sean fijos o móviles. Los equipos fijos son aquellos que no se trasladan para su uso, como las prensas, lagares y molidoras; y los equipos móviles son aquellos que comúnmente se desplazan en la bodega, como las bombas y los filtros. Las entrevistas informales a los operarios de las bodegas hicieron posible establecer la frecuencia en el uso de las maquinarias, la potencia de los motores, la cantidad de horas diarias y horarios de uso y caracterizar la estacionalidad del proceso.

El control térmico del proceso de fermentación del mosto se lleva a cabo mediante sistemas de frío; para el caso del MTPR, este sistema es móvil constituyendo un serpentín sobre cuya superficie cae una lluvia de agua de fuente subterránea, enfriando el mosto que circula dentro del intercambiador. Este sistema se desplaza a pie de cada tanque fermentador y se asiste por dos bombas centrífugas; una que impulsa el mosto y la otra que impulsa el agua, en contracorriente.

Para el MTPN, el sistema de control térmico es fijo. Todos los tanques se hallan conectados al equipo central de frío por cañerías en cuyo interior circula agua enfriada por intercambio térmico con un fluido condensado mediante un compresor a gas. Entre los tanques fermentadores se encuentran dos tipos; aquellos que disponen de camisa de frío sobre su envolvente vertical y aquellos que disponen de intercambiadores de frío. Los primeros realizan el intercambio térmico desde la

superficie del tanque, mientras que los segundos llevan a cabo este intercambio directamente en el seno del mosto en fermentación.

### B. Tecnología de los tanques de Fermentación.

En el MTPN, los tanques de acero inoxidable disponen de doble camisa de refrigeración o cámara de agua. Este es uno de los tipos más eficaces de transferencia de calor, superando al intercambiador de frío. Este tanque (denominado en este estudio Steel; Fig.2) se halla dentro de un galpón industrial, aislado térmicamente por la cubierta de techo (Fig.2).



Fig.2. Fermentador MTPN (Steel). Interior de bodega.

En MTPN, el sistema de control de temperaturas de procesos consiste en un equipo de frío central, que trabaja por absorción del calor mediante gas Freón 22, utilizando agua como medio de transporte del mismo. Este sistema se encuentra activo durante el período de la fermentación, que varía entre los siete y quince días, según la variedad de vino. En el MTPR los tanques son de hormigón armado (denominado en este estudio Concrete; Fig.3), expuestos a la intemperie. El sistema de control de temperatura de procesos consiste en un intercambiador de tubos, cuyo refrigerante y medio de transporte del calor -el agua, de origen geotérmico-circula dentro de un sistema abierto. Este sistema funciona “a demanda”, activándose de manera manual cuando el mosto-vino alcanza el margen superior tolerable de temperatura de fermentación.

Las unidades de control de la temperatura de fermentación se hallan expuestas al clima en diverso grado. Para el caso de MPTN, los fermentadores se encuentran protegidos dentro de la envolvente de un edificio de tipo industrial (Fig.2), aislados térmicamente del clima exterior y cerrado, con escasa ventilación natural. En el caso de la MPTR, los fermentadores se hallan expuestos a la intemperie -dada su escala-, recibiendo el impacto directo del viento cálido y de la radiación solar (Fig. 1).

Se lleva a cabo un registro de temperaturas del vino ( $T_w$ ) del caso Concrete y del caso Steel. Los datos de  $T_w$  se registran cada 30 minutos durante cincuenta días corridos a fines del verano, tomando la información en el seno del vino almacenado en el interior de los casos de las envolventes de Steel (Fig.2) y Concrete (Fig.3). Se obtienen 2.448 registros para cada caso.

Para las mediciones se utilizan sensores HOBO U12, con un error de precisión de  $\pm 0,35$  K. Los 7.344 datos de temperatura del vino ( $T_w$ ), del ámbito de la bodega ( $T_i$ ) y del

aire exterior ( $T_e$ ) se descargan en HOBO Ware, cuya síntesis de halla expuesta en la Tabla III, y luego se procesan en una planilla Excel®, obteniendo los parámetros estadísticos mediante el software R®. La descarga de los datos implica la tarea de limpieza de los mismos. Como puede verse en la 0, los datos de Concrete presentan out-layers superiores significativos; al analizarlos se detecta que los mismos constituyen saltos en registro debido probablemente a la apertura de la compuerta superior de la envolvente de vinificación. Los datos se limpian en base a la información proporcionada por el software R® y las salidas gráficas de los diagramas de cajas y de tallos y hojas. Los datos de temperatura exterior y de Steel no requieren de limpieza.

Puede observarse la manera en la cual los datos de Concrete cambian su distribución luego de la limpieza: en la figura de la izquierda la misma presenta una cola larga hacia la derecha. En la figura de la derecha, la distribución final no es sesgada, y se aproximan los valores de la media ( $26,86^\circ\text{C}$ ) y la mediana ( $26,49^\circ\text{C}$ ), característica de las distribuciones normales.

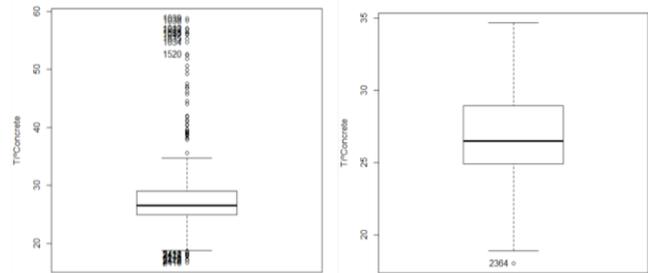


Fig. 3. Diagrama de caja de los datos de Concrete en bruto (izq.) y luego de la limpieza (der.).

Para determinar en qué medida el clima afecta la demanda energética de la fermentación, se recurre al empleo de herramientas estadísticas que permitan definir el coeficiente de Pearson, en base a los datos procesados de las variables dependientes ( $T_w$  y  $T_i$ ) e independientes ( $T_e$ ). Este coeficiente de correlación permite determinar estadísticamente la existencia y grado de asociación entre las variables explicativas y explicadas, partiendo del supuesto que entre éstas existe una relación lineal.

Se estima el valor de la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación ( $Cv$ ) para las  $T_w$  para MTPN y MTPR. Con los datos experimentales obtenidos con los sensores, se construye la función de densidad de cada conjunto de valores y se obtiene la distribución normal para  $T_e$  y  $T_w$  de MTPR y MTPN. Conociendo el comportamiento de los datos, es posible determinar la probabilidad de ocurrencia de sucesos (demanda energética) ante una variación de la  $T_e$ . Esta instancia se lleva a cabo con el empleo de herramientas de programación Jupyter Notebook® y el software Excel®.

## III. RESULTADOS

### A-Demanda Energética

El relevamiento de las instalaciones fijas y móviles presentan diferencias en la demanda energética entre ambos modelos tecnológico-productivos, pero la mayor demanda se observa en ambos casos, particularmente en control térmico.

Como se expone en la Tabla I, a pesar de que los fermentadores se ubican en el interior de un galpón aislado térmicamente y con escasa ventilación, el MTPN presenta una demanda energética en control térmico superior al MTPR.

La diferencia entre las demandas correspondientes a la maquinaria móvil (bombas particularmente) puede explicarse por el mayor recorrido espacial del vino en el MTPR, en cuyo caso la bodega dispone de tres niveles (subsuelo, planta baja y entrepiso). Como se observa en la Tabla II, los volúmenes elaborados en el MTPR son superiores al MTPN en más de tres millones de litros de vino producido. La demanda energética por producto, -en unidades de L- señala que el MTPN supera en un 30% la demanda energética unitaria del MTPR, del mismo producto y en el mismo entorno climático.

### B- Temperaturas $T_w$ y $T_e$

Abordando el efecto de las temperaturas del clima y las temperaturas de producción del vino en fermentación, se

observa que existe una gran desviación de la media definida en la tabla III; en el caso Steel. En este, a pesar de conservar una temperatura media inferior al caso Concrete, la desviación estándar representa casi el doble de la desviación del caso Concrete.

TABLA I  
DEMANDA ENERGÉTICA DIARIA PARA CADA MODELO,  
SEGÚN EL EQUIPAMIENTO

Demanda Energética	[kWh/día]	
	MTPR	MTPN
Fija	886	337
Móvil	734	108
Control térmico producto	847	653
Total	4.391	1.098

TABLA II  
DATOS DE DEMANDAS ENERGÉTICAS Y DE PRODUCCIÓN PARA CADA MODELO

Modelo Tecnológico Productivo	Uva Molida [Kg]	Volumen Elaborado [L]	Demanda Energética [kWh]	Demanda Energética/Producto [kWh/L]	Tanques Material
Representativo (MTPR)	5.262.000	4.234.500	307.355	0.07	Hormigón Armado
Nuevo (MTPN)	922.000	755.900	76.881	0.10	Acero Inoxidable

TABLA III  
PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS DE TEMPERATURA PARA CADA MODELO MTPR, MTPN Y CLIMA.

Modelo Productivo	MTPR	MTPN	CLIMA
Caso	<i>Concrete</i> (a la intemperie, $T_w$ )	<i>Steel</i> (en bodega, $T_w$ )	<i>Temperatura exterior</i> ( $T_e$ )
Media [ $\mu$ ; °C]	26,86	23,86	21,78
Desviación Estándar [ $\sigma$ ; K]	+/- 2,89	+/- 4,18	+/-6,43
Datos [u]	2.448	2.448	2.448
Intervalo [min]	30	30	30
Sensor	HOBO U12 con protección hermética	HOBO U12 con protección hermética	HOBO U12

Ti°Concrete_bruto	Ti°Steel	Te°	Ti°Concrete
Min. :18.91	Min. :14.55	Min. : 7.03	Min. :18.03
1st Qu.:25.09	1st Qu.:20.51	1st Qu.:17.14	1st Qu.:24.92
Median :26.59	Median :23.42	Median :21.33	Median :26.49
Mean :27.28	Mean :23.86	Mean :21.85	Mean :26.86
3rd Qu.:29.15	3rd Qu.:26.92	3rd Qu.:26.73	3rd Qu.:28.94
Max. :58.78	Max. :34.81	Max. :37.88	Max. :34.68

Fig. 4. Resúmenes numéricos de los datos empleados en el análisis.

La  $T_w$  de Steel es controlada mecánicamente hasta la base -valores mínimos de 14.55°C (0) y de manera inmediata al ser “liberada” presenta una rápida variación térmica -entre +/- 4.18 K, cada treinta minutos- señalando que los fermentadores de acero inoxidable como Steel, representativos del MTPN ofrecen escasa amortiguación y retardo térmicos viéndose sensiblemente afectados por las variaciones climáticas. Puede observarse que en el caso Concrete, la  $T_w$  controlada hasta 18.91°C manifiesta un retardo y amortiguación térmicos importantes, con variaciones de casi la mitad que en Concrete. MTPR dispone de un equipamiento insuficiente para descender la temperatura del vino fuera del margen de la temperatura del recurso geotérmico utilizado -agua de fuente

subterránea-, definida en una temperatura media de 18°C.

Respecto de la tasa energía-producto, cabe hacer una estimación más. De estos valores energéticos, se desprenden valores energéticos dependientes del factor climático, como la tasa relativa a control térmico. En Concrete, esta tasa constituye 0,02 kWh/L y para Steel es tres veces superior, alcanzando 0,06 kWh/L.

Se estima el grado de variación de las variables  $T_w$  de los casos Steel y Concrete mediante el cálculo del Coeficiente de Variación ( $C_v$ ; Tabla IV) para cada caso, a partir de la expresión 1.

$$C_v = \frac{\sigma}{x} \quad (1)$$

Donde;

$\sigma$  = desviación estándar de la media muestral

$x$  = media muestral

Los valores de  $C_v$  señalan que Steel presenta desviaciones significativas, del 18%. Esta variación toma relevancia si se considera que el valor  $C_v$  de desviación estándar de la  $T_e$

respecto de la  $T_e$  media es de 30%. Entonces, de un 30% posible de desviación respecto de  $T_e$  -en un rango entre 0 y 1-Steel alcanza 0.66, frente a un 0.33 para Concrete.

Evidentemente la envolvente de Concrete proporciona una amortiguación de  $T_e$  superior a la de Steel, de prácticamente un tercio más. Este hecho señala que el producto en el interior del caso Concrete se sirve de una estabilidad térmica mayor que en el interior del caso Steel.

#### C-Distribuciones de Probabilidad de los datos

Con los datos de  $T_w$  obtenidos con los sensores, se define el área debajo de la curva y se construyen las distribuciones para las variables  $T_e$ , y la variable  $T_w$  para el caso Steel y Concrete (Fig. 5). Como se observa, las distribuciones de probabilidad entre los modelos tecnológicos analizados son diferentes, siendo la curva del MTPR (Concrete) más angosta en su base, con desviaciones estándar más reducidas que en el caso MTPN (Steel). La distribución de Steel es similar a la distribución de la  $T_e$ , pero con una tendencia bimodal. En este sentido, la curva de Concrete se diferencia de las otras dos distribuciones, siendo más acotada y aguda. Esta forma señala un menor riesgo de incertidumbre de la  $T_w$ , al ser menor la magnitud de la desviación estándar en Concrete que en Steel. El área debajo de la intersección entre la  $T_w$  y la  $T_e$  es mayor en el caso Steel, siendo este el más afectado a las inclemencias climáticas,  $T_e$ .

Considerando las distribuciones de probabilidad acumulada ( $p$ ; 0) se estima la probabilidad condicionada de un valor de  $T_w$ , cuando  $T_e$  tiene un valor probable conocido. Para estimar la replicación de la  $T_e$  sobre  $T_w$ , cuando esta alcanza los 22°C, la  $p_{(T_w=22^\circ\text{C})}$  es de 2.4% en MTPR e igual a 16.9% en MTPN, dadas las mismas temperaturas exteriores. Si se desea conocer la probabilidad  $p_{(T_w=24^\circ\text{C})}$ , existe un 32.6% en MTPN y un 10.2% en MTPR. La  $p_{(T_w=26^\circ\text{C})}$  en MTPR es del 28.5% y del 51.8% para MTPN. Puede observarse la persistente diferencia térmica entre MTPR y MTPN, frente a un mismo contexto climático.

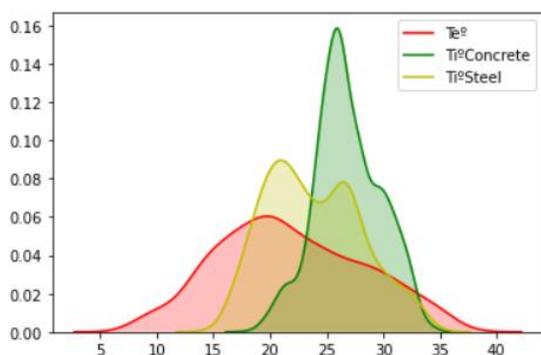


Fig. 5. Distribución de probabilidad de los datos de las variables  $T_e$  y  $T_w$ .

#### D-Regresión Bivariada

Si se observan los resultados según el tipo de modelo productivo (OIV), MTPN marca una tendencia creciente hacia la dependencia energética de los procesos industriales, indicando una demanda energética un 30 % mayor por unidad de producto. En parte, en el diagrama de dispersión de la tabla IV, se observa que esta demanda energética se asocia casi un 79% a la variable independiente  $T_e$  -0,06 kWh/L-, pero no la

determina. En los casos donde la producción se lleva a cabo mediante MTPN el coeficiente de correlación  $r$  entre  $T_e$  y  $T_w$  en Steel es relativamente elevado, igual al 79 %. La diferencia de correlación entre estas mismas variables para MTPR, es de más del doble, indicando hasta un 34 % de correlación  $T_e/T_w$  en Concrete. Según estas estimaciones, la variable clima está asociada en un 45% más a la demanda energética de  $T_w$  en Steel que en Concrete, a pesar de que el primero se encuentra en el interior de un galpón térmicamente aislado.

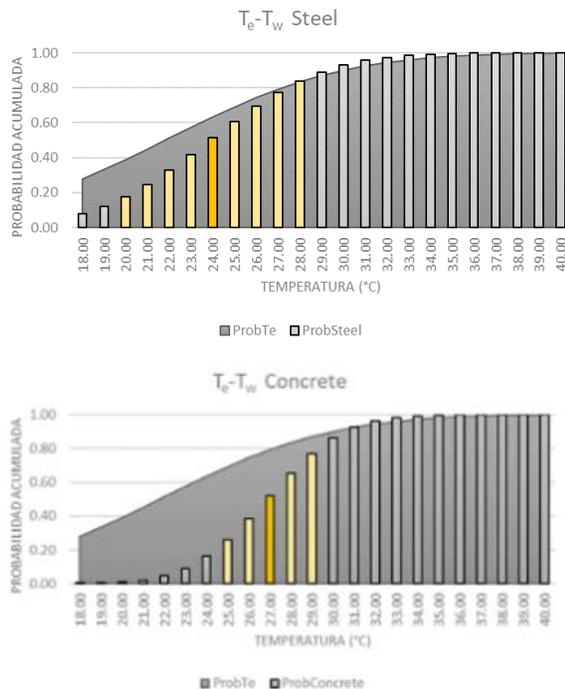


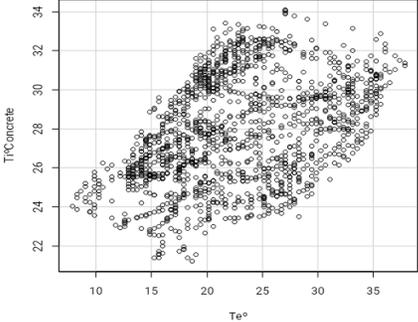
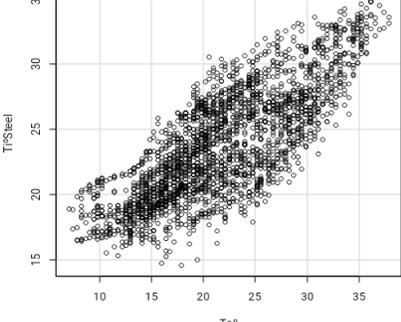
Fig. 6. Distribución de probabilidad acumulada para los casos Steel (der.) y Concrete (Izq.).

Identificado el nivel de asociación entre de  $T_w$  y  $T_e$ , se persigue establecer el Modelo de Regresión Bivariada, de especial interés para MTPN, dada la magnitud de su variación. Para la regresión bivariada se designa a  $T_w$  como la variable dependiente y a  $T_e$  como la variable independiente. Ambos modelos de regresión son significativos a un nivel  $\alpha$  del 1%. Puede observarse en el modelo de regresión bivariado que la rampa del 0.51 de  $T_e$  para  $T_w$  en MTPN, es visiblemente superior a la rampa térmica del MTPR, igual a 0.15 (Tabla IV). Respecto de la envolvente de los fermentadores que responden al MTPR, se observa que el potencial de optimización de la demanda energética es menor al caso anterior, de menos de un tercio de su alcance. En MTPR, el 0.15 de la variación de  $T_w$  se determina por la variación de  $T_e$ , aunque el coeficiente de determinación  $r^2$  entre ambas variables es notablemente más bajo (0.12) que en el caso de MTPN (0.62). Esta diferencia en los coeficientes no afecta a la utilidad del modelo bivariado ya que ambos casos son significativos al 1%. La gran diferencia observada entre las rampas térmicas del modelo bivariado para los casos analizados (0.15 y 0.51) no son sorpresivos dado que se conoce de antemano que la fuerza de asociación entre  $T_e$  y  $T_w$  es baja en MTPR (0.34) en comparación a MTPN (0.79).

Para explicar la componente estocástica de la relación de  $T_e$  con  $T_w$ , la función lineal proporciona el parámetro de error

(+ e). Los resultados del modelo bivariado señalan un error  $\pm 2,57$  K. estándar similar para MTPR,  $e = \pm 2,71$  K y para MTPN,  $e =$

TABLA IV  
DATOS RELATIVOS A LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA PRODUCCIÓN PARA CADA MODELO.

Correlación de parámetros de $T_w$ con $T_e$	MTPR	MTPN
Caso	Concrete (vino blanco)	Steel (vino blanco)
Intensidad Energética [kWh/L]	0.07	0.10
Coefficiente de Variación	11%	18%
Coefficiente de Pearson ( $r$ )	0.34	0.79
Modelo de Regresión Lineal Bivariada	$T_w = 23.47 + 0.15 \cdot T_e + e$	$T_w = 12.62 + 0.51 \cdot T_e + e$
Intervalo de Confianza (95%) Intercepto	23.08 $\leftarrow$ 23.47 $\rightarrow$ 23.86	12.25 $\leftarrow$ 12.62 $\rightarrow$ 12.98
Intervalo de Confianza (95%) Rampa	0.14 $\leftarrow$ 0.15 $\rightarrow$ 0.17	0.49 $\leftarrow$ 0.51 $\rightarrow$ 0.53
Coefficiente de Determinación ( $r^2$ )	0.12	0.62
Error estándar de estimación ( $y-\hat{y}$ )	2.71	2.57
Diagrama de Dispersión	 <p>Diagrama de Dispersión Concrete Ti/Te.</p>	 <p>Diagrama de Dispersión Steel Ti/Te.</p>

#### IV. DISCUSIÓN

Las mediciones llevadas a cabo en el presente trabajo se efectuaron en situaciones climáticas atípicas; en este período las temperaturas exteriores registradas son un 20% inferiores a los valores de temperatura media histórica. Así también la desviación estándar registrada es de la mitad de la histórica;  $\pm 6,43$  K frente a  $\pm 14$  K. Sin embargo, para la finalidad del trabajo los datos son útiles para exponer el grado de correlación entre variables con un método empírico.

Como se mencionó en la introducción, el rango de demanda energética en vinificación en el Reino Unido se estima entre los 0.04 kWh/L y 2.06 kWh/L. De estos amplios rangos, el 44% de la energía es consumida en control térmico, entre 0.02 kWh/L

y 0,90 kWh/L de vino elaborado. El límite inferior de este rango es dos tercios menor al obtenido en el trabajo (MTPR) y el límite superior del rango para las bodegas del Reino Unido es de nueve veces superior al caso MTPN. La demanda energética media de este rango (0.46 kWh/L) es cuatro veces la demanda en MTPN. Sin embargo, los procesos involucrados en la producción de vino en el Reino Unido y en Argentina podrían ser sustancialmente diferentes. Por ejemplo, en Argentina el vino suele producirse a granel o suelto, y comercializarse en el mercado interno para su fraccionamiento. De esta manera las actividades se segregan

en distintas industrias que atienden tareas tercerizadas.

Desde un enfoque probabilístico, el análisis comparativo de envoltentes tipo MTPR y MTPN señala que existe una diferencia superior en un + 14.5% para  $p_{(T_w-22^\circ\text{C})}$ , un + 22.4% para  $p_{(T_w-24^\circ\text{C})}$  y un + 23.3% para  $p_{(T_w-26^\circ\text{C})}$  de que la  $T_e$  se replique en  $T_w$  (MTPN) respecto de  $T_w$  (MTPR). Esta probabilidad se construye en base a datos empíricos y es útil como referencia para estimar las posibles diferencias de carga térmica entre ambos modelos tecnológicos de vinificación similares a los analizados en la presente investigación. Sin embargo, estos resultados no podrán replicarse sino ser útiles como referencias o antecedentes.

Mediante un enfoque determinístico, se emplea la Regresión Lineal Bivariada a fin de obtener un modelo predictivo de  $T_w$  para ambos modelos tecnológicos tipo Concrete y Steel. Los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) definen la calidad de los modelos lineales para predecir los resultados de cada caso de envoltente: este coeficiente es relativamente bajo para Concrete (0.12) y elevado para Steel (0.62). El modelo indica que el 62% de la variación en  $T_w$  en Steel se explica por la variación en  $T_e$ , mientras que el 12% de la variación en  $T_w$  en Concrete se explica por la variación en  $T_e$ . Esto deja una proporción significativa no explicada en el caso de MTPR, la cual debe ser objetivo de una investigación posterior. Sin embargo, la proporción de  $T_w$  explicada por  $T_e$

tanto en MTPR como en MTPN es estadísticamente significativa al 1%.

Claramente por cada cambio en la  $T_e$ , la  $T_w$  del MTPN cambiará también, con mayor demanda energética que para el caso MTPR. Si se consideran las proyecciones de incremento de temperatura en  $+1^\circ\text{C}$  y  $+2^\circ\text{C}$  a 50 años para las zonas vitivinícolas de Argentina y Chile, aplicando la rampa térmica obtenida en el modelo bivariado, por cada  $+1^\circ\text{C}$  MTPR incrementará un 15% su demanda energética en control térmico. Pero MTPN variará en un 51%, con una probabilidad entre un 14.3% y un 23.3% mayor que MTPR. Asimismo, la rampa estimada en el modelo bivariado indica la magnitud del potencial de optimización pasiva de la envolvente de fermentación, notablemente superior en MTPN que para MTPR.

Existe una tasa energética de producción, demanda energética en control térmico y desviación estándar de  $T_w$  notablemente diferentes entre ambos modelos. Es destacable el efecto del clima en la progresión térmica de  $T_w$  en Steel, aun en aquellas envolventes que responden a MTPN y que se ubican en locales cerrados, aislados y controlados térmicamente.

El sector industrial asiste con mayor frecuencia a la demanda de los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), perfilando planes de acción a mediano y largo plazo. Esta realidad requiere del conocimiento de las implicancias ambientales de los procesos industriales. En el caso del consumo de energía los SGA -a pesar de su no-obligatoriedad- atienden a abordar la reducción de la demanda energética en tanto la misma conduce a una mayor emisión de gases de efecto invernadero. Son numerosos los ejemplos de organización a través de los cuales se cita a las industrias y gobiernos a un mayor compromiso ambiental adoptando los SGA en su organización, los sistemas de Producción Limpia, colaborando en los Foros multilaterales, etc. [17]. Esta tendencia reclama un conocimiento sobre las implicancias de los procesos industriales, a fin de atacar los problemas ambientales a los cuales conducen. Sin embargo, los resultados del análisis llevado a cabo en esta investigación concluyente no constituyen una universalización de los mismos. Existen diferencias de infraestructura, de contexto económico, tecnológico y climático que condicionan la configuración y escala de las bodegas dentro de un mismo país y entre los diferentes países vitivinícolas. En ese sentido, este trabajo es un aporte a la información regional escasamente determinada en la temática abordada, la cual es radical para la toma de decisiones en las empresas vitivinícolas locales. Se espera transmitir la necesidad de indagar sobre las implicancias energéticas de las nuevas tecnologías industriales de producción de alimentos, reconociendo el impacto actual y futuro esperado y considerando el potencial de ahorro energético pasivo de los MTPR.

#### REFERENCIAS

- [1] Informe Industrial (2018) La sustitución de Bienes de Capital [en línea] [Fecha de consulta; 22/10/2018] Disponible en: <http://www.informeindustrial.com.ar/>
- [2] Bekerman, M.; Dalmaso, G. (2014) Políticas productivas y competitividad industrial. El caso de Argentina y Brasil. *Revista de Economía Política*, vol. 34, n° 1 (134), 158-180. Recuperado de [www.economicas.uba.ar/institutos\\_y\\_centros/repba/](http://www.economicas.uba.ar/institutos_y_centros/repba/)
- [3] Cámara Argentina de Comercio y Servicios (CAC; 2016). Las exportaciones argentinas: evolución reciente y caminos para su expansión. [Informe en línea] [Fecha de consulta; 12/10/2018] Disponible en <http://www.cac.com.ar/>
- [4] Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV; 2018) Informes Estadísticos. [en línea] [Fecha de consulta; 20/10/2018] Disponible en <http://www.inv.gov.ar/>
- [5] Cerdá, J.; Duarte, R. (2014) Las exportaciones de vino argentinas. Una historia basada en episodios. *Revista de Economía Agrícola*; v. 61, n. 2, p. 35-52.
- [6] Organización Internacional del Vino, (OIV; 2016). Recuperado de [www.oiv.int/es/organizacion-internacional-de-la-vina-y-el-vino](http://www.oiv.int/es/organizacion-internacional-de-la-vina-y-el-vino).
- [7] Ministerio de Energía y Minería de la Nación (2018). Datos y Estadísticas. [en línea] [Fecha de consulta; 10/09/2018] Disponible en <http://www.minem.gov.ar/>
- [8] Instituto Argentino de Normalización (1996) IRAM11603 Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- [9] Smyth, M., Russell, J. (2009) From graft to bottle. Analysis of energy use in viticulture and wine production. and the potential for solar renewable technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 1985–1993.
- [10] Ramos Sanz, A.; Kuchen, E. (2013) La Incidencia del Clima árido en la demanda energética en dos instancias de vinificación. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)* Vol. 17 p. 07.19-07.28
- [11] Smith, M.; Nerbitt, A. (2014) Energy and English wine production: A review of energy use and benchmarking. *Energy for Sustainable Development* 23; 85–91.
- [12] PricewaterhouseCoopers (2009) Efectos del Cambio Climático sobre la Industria Vitivinícola de Argentina y Chile. [en línea] [Fecha de consulta; 5/12/2018] Disponible en <http://www.pwc.com/>
- [13] The Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) Global Warming of  $1.5^\circ\text{C}$ . [en línea] [Fecha de consulta; 18/12/2018] Disponible en <https://www.ipcc.ch/>
- [14] Winerisk (2018) Climate Change [en línea] [Fecha de consulta; 22/11/2018] Disponible en <http://www.winerisk.com/>
- [15] Vargas, J. J., Muñoz, J. J., Paba, N. A., y Ordoñez, N. Aplicación de la técnica multivariada Manova a dos variables de control provenientes de tres modelos de simulación estocásticos de un proceso productivo, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, no. 28, pp. 66-75, julio-diciembre, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.2056>.
- [16] Ramos Sanz, Alba (2014) Optimización de la envolvente de vinificación mediante la experimentación de Estrategias Pasivas vinculadas a los intercambios por Radiación térmica. XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Vol. 2, pp. 08.15-08.24, 2014. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5 08.
- [17] Franco, P. C. y Arias, J. L. Sistemas de gestión ambiental y procesos de producción más limpia en empresas del sector productivo de Pereira y Dosquebradas, *entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, no. 23, pp. 140-146, enero - junio, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.3714>.



**Alba Inés Ramos Sanz.** Arquitecta (2003), Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan (FAUD-UNSJ), República Argentina. Doctora en Arquitectura (PhD, 2013) Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de Mendoza (FAUD-UM), República Argentina. Magíster en Administración de Negocios (MBA; 2020) Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad nacional de Cuyo (FCE-UNCuyo), República Argentina. Investigadora Adjunta en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET; 2016-actualidad). Profesora Adjunta (UNSJ; 2017-actualidad). Se desarrolla en el área de Eficiencia Energética, particularmente en el análisis de envolventes de uso industrial. ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-4069-4740>.