

# Empleo de levaduras no-Saccharomyces como estrategia para aumentar la acidez de vinos dulces en un contexto de cambio climático

## Use of non-Saccharomyces yeasts as a strategy to increase the acidity of sweet wines in a context of climate change

Fernando Sánchez-Suárez<sup>1</sup>, Nieves López de Lerma<sup>1</sup>, María del Valle Palenzuela<sup>2</sup>, Antonio Rosal<sup>2</sup>, Juan Moreno<sup>1</sup> y Rafael A. Peinado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Córdoba, Departamento de Química Agrícola, Edafología y Microbiología, 14014 Córdoba, España

<sup>2</sup>Universidad Pablo de Olavide, Departamento de Biología molecular y Bioquímica, 41013 Sevilla, España

**Resumen.** El cambio climático está afectando negativamente la calidad de los vinos de las regiones más meridionales de Europa. Uno de los efectos más acusados es el descenso en la acidez de los mostos y la subida del pH, además de la disminución del potencial aromático. En respuesta a este problema, se ha evaluado un método para mejorar la acidez y el aroma de los vinos mediante el uso de levaduras no-Saccharomyces, específicamente *Lachancea thermotolerans* y *Torulaspora delbrueckii*. Se ha utilizado mosto de una variedad de uva blanca de baja acidez y aroma neutro (Cayetana Blanca) para evaluar la capacidad mejorante de estas levaduras en la producción de vinos dulces. Tras la fermentación y el posterior análisis analítico, aromático y organoléptico, se ha observado un aumento de acidez producido por la levadura *Lachancea thermotolerans* debido a la producción de ácido láctico durante la fermentación. Además, esta levadura se percibe como más atractiva por los catadores expertos en los tres ítems evaluados (fase visual, olfativa y gustativa). Son necesarios futuros estudios para saber más sobre el metabolismo de estas levaduras y mejorar los vinos producidos mediante variaciones en las condiciones de fermentación, realizando coupages o seleccionando cepas específicas de estas levaduras.

**Abstract.** Climate change is negatively affecting the quality of wines from the southernmost regions of Europe. One of the most noticeable effects is the decrease in must acidity and pH increase, as well as a reduction in aromatic potential. In response to this problem, a method has been evaluated to improve wine acidity and aroma using non-Saccharomyces yeasts, specifically *Lachancea thermotolerans* and *Torulaspora delbrueckii*. Must from a low acidity and neutral aroma white grape variety (Cayetana Blanca) was used to evaluate the enhancing capacity of these yeasts in the production of sweet wines. After fermentation and subsequent analytical, aromatic, and organoleptic analysis, an increase in acidity produced by *Lachancea thermotolerans* due to the production of lactic acid during fermentation was observed. Furthermore, this yeast was perceived as more attractive by expert tasters in all three evaluated items (visual, olfactory, and gustatory phases). Further studies are necessary to learn more about the metabolism of these yeasts and to improve the wines produced by varying fermentation conditions, making coupages, or selecting specific strains of these yeasts.

## 1 Introducción

El cambio climático es una realidad que afecta a todos los cultivos y procesos ambientales, principalmente se traduce en un aumento de las temperaturas y un descenso de las precipitaciones anuales[1], siendo además éstas de

carácter torrencial en ocasiones, lo que hace que el agua se pierda por escorrentía y no se infiltre en el suelo. Ligado a este aumento de las temperaturas, se produce un aumento sustancial de la evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>o</sub>),

principalmente como consecuencia del aumento de las temperaturas, lo que se refleja en una necesidad superior de agua en el suelo, que se ve agravada por un descenso de las precipitaciones [1,2].

En términos generales se pueden distinguir efectos positivos y negativos fundamentados en la posición geográfica del viñedo. Mientras en el extremo más meridional de Europa se observan desfases entre la maduración fenólica e industrial, lo que puede originar vinos de menor calidad [3,4], en el extremo más septentrional se amplían los periodos vegetativos, consiguiendo una mejor madurez y una ampliación de las posibilidades vitícolas a nuevas variedades de ciclo más largo [5].

Centrándonos en las regiones más meridionales se han observado los siguientes efectos indeseados:

(i) un adelanto fenológico general de las distintas variedades [6]. Esto conlleva una maduración en un periodo más cálido y con menores oscilaciones térmicas día-noche, lo que afecta negativamente al proceso de maduración, con un (ii) desfase entre la madurez industrial y la fenólica y aromática, lo que influye negativamente en la calidad del vino y, además, estos son más alcohólicos [3,4]. (iii) Aumenta la probabilidad de olas de calor que puedan causar bloqueos de maduración irreversibles, quemaduras y pasificaciones que afecten gravemente a la calidad y cantidad de cosecha [7]. (iv) una maduración en un periodo más cálido produce un mayor pH de los mostos y una acidez titulable menor, como consecuencia de una menor síntesis de ácido tartárico y una mayor degradación de ácido málico [4].

Para tratar de paliar estos efectos del cambio climático en el viñedo y el vino se están estudiando y desarrollando diferentes estrategias desde dos puntos de vista: vitícola y enológicos.

Entre las estrategias vitícolas, destacan aquellas que se pueden implementar en viñedos ya establecidos. Estas estrategias incluyen: i) modificaciones del sistema de conducción para tratar de reducir la exposición constante de hojas y racimos, disminuyendo su temperatura y protegiéndolos de quemaduras solares, como los sistemas de conducción libres y semilibres [8]. ii) Poda tardía, que retrasa el ciclo fenológico retrasando el momento de la poda, aunque con una poda muy tardía, la reducción en la producción y el agotamiento de la vid pueden ser significativos [9,10]. iii) Reducción de la relación hoja/fruto, lo que retrasa la fecha de la vendimia, especialmente mediante una acumulación de azúcares más lenta y, por lo tanto, se favorece la sincronización de la madurez fenólica y sacarimétrica [11,12]. iv) Riego, que cuando se maneja correctamente, mejora el estado de hídrico de la vid posibilitando un aumento la transpiración y el enfriamiento de la planta, así como el rendimiento y el retraso de la fecha de la vendimia [13]. v) Aplicación de protectores solares como el caolín, estos compuestos pueden reflejar parte de la radiación solar que llega a las plantas, causando una disminución en la temperatura de las hojas y racimos expuestos, un aumento en la fotosíntesis neta y un aumento en la acidez del mosto resultante [14–16].

En viñedos de nueva plantación, es importante tratar de utilizar portainjertos que sean más resistentes a las condiciones de sequía y vigorosos y nuevas variedades y

clones de vid, minoritarias o importadas que se distinguen por su resistencia a altas temperaturas y sequía y por tener un ciclo vegetativo más largo [4,17].

En cuanto a las estrategias enológicas, el enfoque principal se centra en lograr una mayor acidez, una mayor concentración de compuestos aromáticos y fenólicos, así como una reducción en el contenido de etanol. Estas tres premisas se pueden conseguir mediante el uso de nuevas tecnologías, como la nanofiltración para eliminar los azúcares del mosto y, por consiguiente, el etanol del vino [18], la desalcoholización de vinos por destilación por ósmosis inversa [19], la electrodiálisis para reducir el K<sup>+</sup> y el pH, la criomaceración para mejorar la calidad aromática [20], entre otras, o mediante el uso de levaduras no-*Saccharomyces* [21].

El uso de levaduras no-*Saccharomyces* tiene múltiples efectos, uno de los más destacables es el aumento en la producción de compuestos aromáticos por ciertas levaduras, como *Torulaspora delbrueckii* o *Metschnikowia pulcherrima* [22]. Específicamente, en algunos estudios de esta última levadura, se ha encontrado que las coinoculaciones producen menores cantidades de alcoholes superiores, ésteres y ácidos grasos, pero mucho mayores cantidades de tioles polifuncionales, como el 3-mercaptohexan-1-ol, el acetato de 3-mercaptohexanol o el 4-metil-4-mercaptopentan-2-ona. Estos vinos tienen puntuaciones más positivas en catas que los inoculados solo con *Saccharomyces cerevisiae* [23].

Otro efecto notable es el aumento de la acidez y la reducción del pH producido por la *Lachancea thermotolerans*, que es capaz de producir cantidades significativas de ácido láctico a partir de los azúcares como metabolito s. Este ácido, al estar naturalmente presente en los vinos como resultado de la fermentación maloláctica y en menor medida de la fermentación alcohólica, no afecta negativamente la calidad del vino tanto como el ácido tartárico, que normalmente es añadido a los vinos para corregir el pH y la acidez. En estudios de fermentaciones con esta levadura, se han obtenido valores superiores de acidez total, un pH más bajo y una producción significativa de ácido láctico, con el consiguiente mejora del equilibrio en vinos poco ácidos. En cuanto a la caracterización organoléptica, los vinos producidos por *Lachancea thermotolerans* destacan por tener una mayor frutuosidad y acidez, y una reducción de la amargura sin notas o defectos negativos [24].

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Diseño experimental

Se establecieron 3 unidades de fermentación con el objetivo de conocer el impacto de las levaduras no-*Saccharomyces* *Lachancea thermotolerans* (Lt) y *Torulaspora delbrueckii* (Td) en la acidez y aroma de los vinos obtenidos frente a una *Saccharomyces cerevisiae* (Sc) comercial como control.

Para ello, se fermentó mosto de una variedad aromáticamente neutra y de baja acidez, Cayetana Blanca, cultivada en Extremadura, España a una temperatura controlada de 14 °C.

Una vez el mosto alcanzó 5% de etanol (v/v) se llevó a -2 °C para detener la fermentación. Para estabilizarlo microbiológicamente se sulfitó con 100 mg/L de SO<sub>2</sub> total en forma de bisulfito potásico, se fortificó hasta 10% de etanol (v/v) y se añadió sorbato potásico a 150 mg/l.

Además, una parte del vino de Lt se dejó terminar de fermentar para conocer el efecto de esta levadura a mitad y final de fermentación sobre las características analíticas y organolépticas de los vinos obtenidos y vislumbrar posibles rutas metabólicas favorecidas en cada momento de la fermentación.

## 2.2 Cinéticas de fermentación

Para conocer la cinética de fermentación de las diferentes levaduras se realizó un seguimiento diario del descenso de densidad de los vinos mediante el uso de un densímetro.

## 2.3 Parámetros enológicos

Se han determinado los siguientes parámetros enológicos de acuerdo con los métodos oficiales de análisis: pH, etanol, acidez volátil, azúcares reductores, acidez volátil. El ácido láctico se determinó mediante reflectometría mediante el uso de tiras de ensayo Reflectoquant ®.

## 2.4 Determinación de compuestos volátiles y polioles

Para la determinación de los compuestos volátiles mayoritarios y polioles de los diferentes vinos se ha utilizado un cromatógrafo de gases Agilent 6890 Series II equipado con una columna capilar CP-WAX 57 CB de 60 metros de longitud y un detector de ionización de llama (FID)

Las condiciones cromatográficas se exponen detalladamente en Peinado et al. [25]

La preparación de las muestras se realizó tomando 10 ml de vino al que se añadió 1 ml de una disolución de 1g/L de 4-metil-2-pentanol usado como patrón interno. Tras esto, se homogeneizaron las mezclas y centrifugaron para eliminar posibles sedimentos y se inyectaron 0,5 µL en el cromatógrafo de gases.

Todos los análisis se realizaron por triplicado. Para la identificación y cuantificación de los distintos compuestos se realizó una recta de calibración para cada uno de ellos mediante el uso de patrones a diferentes concentraciones sometidos a las mismas condiciones cromatográficas.

## 2.5 Caracterización organoléptica

Se realizó una caracterización organoléptica del vino por parte de catadores experimentados siguiendo las recomendaciones de la OIV.

Se evaluaron de forma independiente las características de las fases visual, olfativa y gustativa de los vinos.

## 2.6 Análisis estadístico

Se ha realizado un análisis estadístico de las correlaciones entre las levaduras utilizadas y los diferentes parámetros

obtenidos mediante análisis de la varianza (ANOVA), determinándose niveles de significación del 95, 99 y 99,9%, \*, \*\* y \*\*\*, respectivamente.

Cuando mostraron diferencias significativas se procedió a realizar un análisis de comparación de medias y separación en grupos homogéneos usando el test de Tukey al 95% de confianza.

Estos análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa SPSS Statistics 25 de IBM.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Cinética de fermentación

Las diferentes levaduras mostraron cinéticas de fermentación diferentes, esto es porque mientras que Sc tardó 7 días desde la inoculación en alcanzar 5% v/v de etanol, Lt se demoró 11 días y Td fue la mas lenta, tardando 15 días en alcanzar este valor.

En el seguimiento de la densidad, se aprecia como tanto Sc como Lt tienen una fase de aclimatación mucho más corta que Td (datos no mostrados).

### 3.2 Características enológicas

Los resultados de las determinaciones enológicas se recogen en la siguiente tabla.

Como se aprecia en la Tabla 1, existen escasas diferencias en los parámetros enológicos cuando comparamos los vinos obtenidos con la levadura Sc y Td. Sin embargo, en el caso de Lt se observan diferencias significativas en los parámetros relacionados con la acidez.

**Tabla 1.** Resultados analíticos de los vinos dulces. TH<sub>2</sub> = ácido tartárico; AcH: ácido acético. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95%.

	<i>S.</i> <i>cerevisiae</i>	<i>L.</i> <i>thermotolerans</i>	<i>T.</i> <i>delbrueckii</i>
<b>pH</b>	3,24±0,03a	3,14±0,04a	3,17±0,01a
<b>Capacidad tampón (meq/l)</b>	30±2b	47±4a	31±1b
<b>Acidez titulable (g TH<sub>2</sub>/l)</b>	5,3±0,1b	7,7±0,1a	5,35±0,1b
<b>Ácido láctico (g/l)</b>	0,15±0,02b	3,3±0,3a	nd
<b>Acidez volátil (g AcH/l)</b>	0,26±0,03b	0,59±0,02a	0,34±0,03b
<b>Etanol (% v/v)</b>	5,2±0,1a	5.0±0,2a	5.0±0,1a
<b>Azúcares reductores (g/l)</b>	74±2a	80±4a	78±2a

Lt ha producido un total de 3,33 g/L de ácido láctico durante la fermentación del mosto, lo que ha contribuido a un aumento de la acidez titulable y la capacidad tampón de los vinos. Estos datos coinciden con otros estudios donde se nombra esta levadura como productora de ácido láctico y por ende, provoca un aumento en la acidez titulable de los vinos obtenidos [26–31].

Aunque el pH no muestra un descenso muy acusado en los vinos obtenidos con Lt, se debe tener en cuenta que el aumento de la capacidad tampón minimiza el efecto sobre el pH debido a la producción de ácido láctico. Otros autores si que han observado reducciones más acusadas en el pH [27,32].

Un efecto paralelo asociado a la producción de ácido láctico es el aumento de la acidez volátil, que en cualquier caso no alcanza valores cercanos al límite legal establecido y que depende de la cepa de Lt utilizada [31,33]. Esto podría ser debido a la activación de rutas metabólicas por parte de la levadura para equilibrar el potencial redox [34].

**Tabla 2.** Resultados analíticos de los vinos de *Lachancea thermotolerans* dulce y a final de fermentación. TH<sub>2</sub> = ácido tartárico; AcH: ácido acético. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95%.

	<i>Mitad de Fermentación</i>	<i>Final de Fermentación</i>
<b>pH</b>	3,14±0,04b	3,25±0,01a
<b>Capacidad tampón (meq/l)</b>	47±4a	47±2a
<b>Acidez titulable (g TH<sub>2</sub>/l)</b>	7,7±0,1a	7,9±0,1a
<b>Ácido láctico (g/l)</b>	3,3±0,3	3,7±0,1
<b>Acidez volátil (g AcH/l)</b>	0,59±0,02b	0,74±0,02a
<b>Etanol (% v/v)</b>	5,0±0,2b	11,7±0,1a
<b>Azúcares reductores (g/l)</b>	80±4a	0,27±0,20b

En cuanto a la relación del vino de Lt dulce con el mismo vino terminado (Tabla 3), se encuentran algunas relaciones interesantes. Entre ellas, destaca que el 90% del ácido láctico producido durante toda la fermentación del vino se produce en esta primera etapa, teniendo el vino terminado 3,70 g/l de ácido láctico frente a los 3,33 g/l del vino con 5% de etanol, no habiendo diferencias significativas entre ellos. Coincidiendo con otros estudios donde monitorizan la producción de ácido láctico a lo largo de la fermentación [28–30,32].

Del mismo modo ocurre con la acidez volátil, ya que el vino seco presenta 0,74 g/l de ácido acético frente a los 0,59 g/l del vino con un 5% de etanol, aunque en este caso

las diferencias si son significativas, aunque enológicoamente pueden considerarse muy similares.

Esto puede tener su origen en una mayor actividad de las rutas metabólicas alternativas a la producción de etanol para la recuperación del poder reductor en las primeras fases de desarrollo de la levadura, cuando esta está menos estresada [34].

### 3.3 Compuestos Volátiles y Polioles

Se han determinado un total de 13 compuestos volátiles mayoritarios y polioles en el vino obtenido. En la siguiente tabla se expresan los resultados obtenidos.

**Tabla 3.** Resultados de los volátiles mayoritarios de los vinos dulces. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95%.

	<i>S. cerevisiae</i>	<i>L. thermotolerans</i>	<i>T. delbrueckii</i>
Metanol	34,7±0,8b	35±3b	49±2a
2-Feniletanol	16,9±0,8b	15,9±0,9b	31,0±0,4a
Alc. Isoamílicos	111±4b	168±4a	167±6a
Propanol	29,9±0,8c	37,5±0,8b	57,8±0,6a
Isobutanol	19,1±0,1 c	41±2 b	47±1a
<b>∑ Alcoholes Superiores</b>	<b>176±3c</b>	<b>260±2b</b>	<b>303±2a</b>
Acetato de etilo	19±2b	130±4a	18,3±0,7b
Lactato de etilo	nd	33,9±0,1	nd
<b>∑ Ésteres</b>	<b>19±2b</b>	<b>163±4a</b>	<b>18,3±0,7b</b>
Acetaldehído	67±b	39±4c	129±9a
Acetoína	12±2b	23,3±0,3a	21,9±0,4a
<b>∑ Compuestos Carbonílicos</b>	<b>79±4b</b>	<b>62±2b</b>	<b>151±9a</b>
2,3-Butanodiol (Levo)	136±10a	92±8b	36±5c
2,3-Butanodiol (Meso)	47,3±0,3a	32±3b	33±5b
Glicerol	3950±160b	5010±440 <sup>a</sup>	3930±600b
<b>∑ Polioles</b>	<b>4133±162a</b>	<b>5133±444b</b>	<b>3999±601a</b>

Comentando los diferentes compuestos por familias:

Destaca la producción de alcoholes superiores en las levaduras no-*Saccharomyces* especialmente por Td. Estos compuestos, aunque con descriptores a disolvente, fenol, alcoholes de fusel, contribuyen de forma positiva a la complejidad aromática a bajas concentraciones (< 500 mg/l). Proceden del metabolismo durante la fermentación de los aminoácidos y de los azúcares.

En el caso de Lt se tienen diferentes lecturas respecto de otros estudios, ya que se coincide con algunos, mientras que otros manifiestan lo contrario. No se muestra una tendencia clara [26,31,33].

Respecto a los alcoholes superiores individuales destacan los valores de propanol y 2-feniletanol este último con descriptor aromático a rosas, en Td. En Lt junto con Td destaca el contenido en alcoholes isoamílicos.

Entre los ésteres determinados destaca en Lt los contenidos en acetato y lactato de etilo, fácilmente explicables si atendemos a la concentración de los ácidos de los que derivan. Algunos autores han puesto de manifiesto que el contenido en estos ésteres depende de la cepa de Lt utilizada ya que algunos describen incrementos y otros descenso respecto a un control con *S. cerevisiae* [26,31,33,35].

El acetaldehído es un compuesto previo a la formación de etanol, puede acumularse en el medio como consecuencia de ajustes en el potencial redox de la levadura [36]. Es posible que la síntesis de alcoholes superiores por parte de Td provoque un defecto que coenzimas de reducción que intervienen en numeroso proceso como la transformación de acetaldehído en etanol, acumulándose el primero en el medio. Este compuesto presenta aromas a compota de manzana a bajas concentraciones y a notas de oxidación si su concentración es elevada. En cuanto a Lt, la producción total de compuestos carbonílicos es similar a Sc. No obstante, produce una mayor cantidad de acetoína, que presenta aromas lácteos y puede sumarse a otros compuestos con este descriptor como el lactato de etilo. En otros estudios no muestran diferencias significativas [26].

Las dos formas isoméricas del 2,3-butanodiol aportan más a la untuosidad del vino que a los aromas propiamente dichos ya que son poco volátiles. En este caso es la levadura control la que produce un mayor contenidos en ambas formas de este compuesto. Por último, destaca el contenido en glicerol producido por Lt lo cual esta relacionado de nuevo con los equilibrios de oxidoreducción propios del metabolismo de la levadura [36].

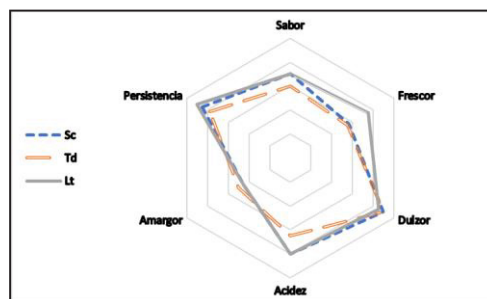
### 3.4 Caracterización organoléptica

La caracterización organoléptica se dividió en las fases visual, olfativa y gustativa, encontrándose en términos generales más interesante el vino de Lt, por su mayor complejidad y equilibrio gustativo.

En la fase visual no se detectaron diferencias entre los tres vinos elaborados, presentándose todos ellos limpios, brillantes y con tonos amarillo pajizos.

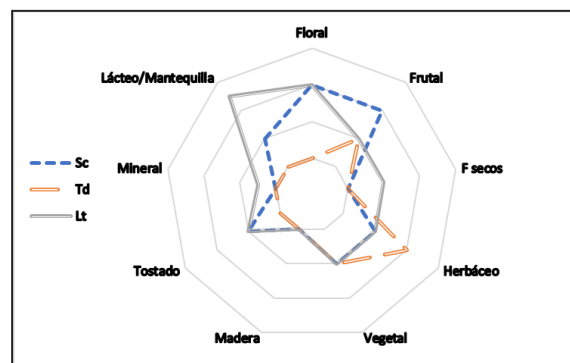
En la fase olfativa (Fig. 1) destacó la levadura Lt frente al control, destacando la mayor presencia de aromas lácteos y frutos secos, una presencia similar de aromas

florales e inferior de aromas frutales. No se detectaron aromas negativos como pueda esperarse de la elevada concentración de acetato de etilo, éstos si se presentaron en el vino de Lt seco. En cuanto a Td, destacó por una mayor presencia de aromas herbáceos y por una baja percepción del resto de aromas, resultando un vino más plano.



**Figura 1.** Descriptores aromáticos determinados en la caracterización organoléptica. Sc = *Saccharomyces cerevisiae*, Td = *Torulaspora delbrueckii*, Lt = *Lachancea thermotolerans*.

En la fase gustativa (Fig. 2) destacó Lt por encima del resto de las levaduras, principalmente por una menor sensación de dulzor y mayor sensación de acidez y frescor. Esto se debe fundamentalmente a la mayor acidez del vino por la producción de ácido láctico comentada anteriormente.



**Figura 2.** Caracteres gustativos determinados en la caracterización organoléptica. Sc = *Saccharomyces cerevisiae*, Td = *Torulaspora delbrueckii*, Lt = *Lachancea thermotolerans*.

**Tabla 4.** Resultados de las puntuaciones de la caracterización organoléptica. Puntuaciones sobre 10. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95%.

	<i>S.</i> <i>cerevisiae</i>	<i>L.</i> <i>thermotolerans</i>	<i>T.</i> <i>delbrueckii</i>
<b>Fase Visual</b>	7,0±2,2	7,6±2,4	6,1±2,1
<b>Fase Olfativa</b>	6,6±1,8	6,6±2,1	5,8±1,7
<b>Fase Gustativa</b>	8,0±1,4	8,0±1,4	7,3±1,3
<b>Puntuación Global</b>	7,4±1,6	7,5±1,7	6,6±1,5



Es por ello, que, en términos generales aunque no significativos, Lt ha aportado una mayor complejidad y equilibrio a los vinos dulces obtenidos resultando en una mayor puntuación en la caracterización organoléptica, aunque muy similar a Sc. El vino peor valorado ha sido el de Td.

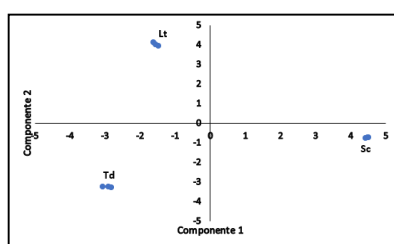
### 3.5 Análisis de Componentes Principales

En la Fig. 3 se muestra el análisis de componentes principales realizado usando como variables clasificadoras los parámetros enológicos y los volátiles determinados. Con dos componentes se explica el 95,2% de la varianza observada. En la Tabla 5 se recogen los pesos de las distintas variables en las componentes

**Tabla 5.** Peso de las variables clasificadoras a cada una de las componentes seleccionadas en el análisis de componentes principales.

	Componente 1	Componente 2
pH	0,27	0,04
Acidez Titulable	-0,10	0,29
Ácido Láctico	-0,09	0,30
Capacidad Tampón	-0,11	0,28
Acidez Volátil	-0,16	0,26
Etanol	0,24	0,02
Azúcares reductores	-0,26	0,00
Acetaldehído	-0,11	-0,29
Acetato de etilo	-0,10	0,29
Metanol	-0,18	-0,24
Propanol	-0,24	-0,18
Isobutanol	-0,29	-0,02
Alcoholes isoamílicos	-0,29	0,05
Acetoína	-0,28	0,09
Lactato de Etilo	-0,10	0,29
2,3- Butanodiol (Levo)	0,27	0,13
2,3- Butanodiol (Meso)	0,27	-0,07
2-Feniletanol	-0,17	-0,25
Glicerol	-0,09	0,27

La Fig. 3 muestra la distribución de las levaduras obtenida tras el análisis de componentes principales.



**Figura 3.** Resultados del análisis de componentes principales. Sc = *Saccharomyces cerevisiae*, Td = *Torulaspota delbrueckii*, Lt = *Lachancea thermotolerans*.

La componente 1 que explica el 50,5% de la varianza separa correctamente la levadura *S. cerevisiae* de las no-*Saccharomyces*, siendo las variables que más contribuyen a la diferenciación los alcoholes superiores y la acetoína (Tabla 5). Por su parte, la componente 2 explica el 44,7% de la varianza y diferencia claramente entre *L. thermotolerans* y *T. delbrueckii*, siendo las variables que más contribuyen a dicha diferenciación la acidez titulable, el ácido láctico, el lactato de etilo, el acetaldehído y acetato de etilo.

### 4 Conclusiones

El empleo de levaduras no-*Saccharomyces*, especialmente *L. thermotolerans* contribuye de manera significativa a paliar los defectos de acidez de mostos poco ácidos, lo que tiene una mayor significancia en la producción de vinos dulces ya que estos presentan un mejor equilibrio acidez-dulzor. Además de ácido láctico, se observa una mayor producción de glicerina y de alcoholes superiores lo que podría estar relacionado con el predominio de ciertas rutas metabólicas que ayuden a equilibrar el potencial redox. Desde un punto de vista organoléptico fueron los vinos obtenidos con *S. cerevisiae* y con *L. thermotolerans* los mejor valorados.

Para una mejor comprensión del metabolismo la levadura *L. thermotolerans* es necesario realizar otros estudios que incluyan el análisis de los compuestos volátiles minoritarios y de las distintas fuentes de nitrógeno asimilable.

### Referencias

1. M. C. Ramos, Agric For Meteorol **247**, 104 (2017)
2. D. Santillán, V. Sotés, A. Iglesias, and L. Garrote, BIO Web Conf. **12**, 01001 (2019)
3. C. Van Leeuwen and A. Destrac-Irvine, OENO One **51**, 147 (2017)
4. van Leeuwen, Destrac-Irvine, Dubernet, Duchêne, Gowdy, Marguerit, Pieri, Parker, de Rességuier, and Ollat, Agronomy **9**, 514 (2019)
5. M. F. Cardell, A. Amengual, and R. Romero, Reg Environ Change **19**, 2299 (2019)
6. H. Fraga, I. García de Cortázar Aauri, A. C. Malheiro, and J. A. Santos, Glob Chang Biol **22**, 3774 (2016)
7. C. Winefield, T.-M. Lee, J. M. Gambetta, M. Friedel, B. P. Holzapfel, and M. Stoll, **11**, 604691 (2021)
8. E. A. Gladstone and N. K. Dokoozlian, Vitis **42**, 123 (2003)
9. M. Gatti, T. Frioni, A. Garavani, A. Biagioni, and S. Poni, BIO Web Conf. **13**, 04002 (2019)
10. W. Zheng, J. García, P. Balda, and F. Martínez de Toda, OENO One **51**, 363 (2017)
11. F. de Toda and P. Balda, Vitis: Journal of Grapevine Research **52**, 171 (2013)
12. F. de Toda, J. Sancha, W. Zheng, and P. Balda, Vitis **53**, 189 (2014)
13. D. S. Intrigliolo, V. Lizama, M. J. García-Esparza, I. Abrisqueta, and I. Álvarez, Agric Water Manag **170**, 110 (2016)

14. L. T. Dinis, A. C. Malheiro, A. Luzio, H. Fraga, H. Ferreira, I. Gonçalves, G. Pinto, C. M. Correia, and J. Moutinho-Pereira, *Photosynthetica* **56**, 641 (2018)
15. T. Frioni, S. Tombesi, E. Luciani, P. Sabbatini, J. G. Berrios, and A. Palliotti, *BIO Web Conf.* **13**, 04004 (2019)
16. A. Coniberti, V. Ferrari, E. Dellacassa, E. Boido, F. Carrau, V. Gepp, and E. Disegna, *European Journal of Agronomy* **50**, 75 (2013)
17. C. van Leeuwen, J.-P. Roby, V. Alonso-Villaverde, and K. Gindro, *J Agric Food Chem* **61**, 19 (2013)
18. C. M. Salgado, E. Fernández-Fernández, L. Palacio, F. J. Carmona, A. Hernández, and P. Prádanos, *Food and Bioproducts Processing* **101**, 11 (2017)
19. L. Liguori, D. Albanese, A. Crescitelli, M. Di Matteo, and P. Russo, *J Food Sci Technol* **56**, 3707 (2019)
20. R. A. Peinado, J. Moreno, J. E. Bueno, J. A. Moreno, and J. C. Mauricio, *Food Chem* **84**, 585 (2004)
21. A. Contreras, C. Hidalgo, P. A. Henschke, P. J. Chambers, C. Curtin, and C. Varela, *Appl Environ Microbiol* **80**, 1670 (2014)
22. A. Antonelli, L. Castellari, C. Zambonelli, and A. Carnacini, *J Agric Food Chem* **47**, 1139 (1999)
23. J. Ruiz, I. Belda, B. Beisert, E. Navascués, D. Marquina, F. Calderón, D. Rauhut, A. Santos, and S. Benito, *Appl Microbiol Biotechnol* **102**, 8501 (2018)
24. A. Morata, M. A. Bañuelos, C. Vaquero, I. Loira, R. Cuerda, F. Palomero, C. González, J. A. Suárez-Lepe, J. Wang, S. Han, and Y. Bi, *European Food Research and Technology* **245**, 885 (2019)
25. R. A. Peinado, J. A. Moreno, D. Muñoz, M. Medina, and J. Moreno, *J Agric Food Chem* **52**, 6389 (2004)
26. E. K. Balikci, H. Tanguler, N. P. Jolly, and H. Erten, *Yeast* **33**, 313 (2016)
27. M. Gobbi, F. Comitini, P. Domizio, C. Romani, L. Lencioni, I. Mannazzu, and M. Ciani, *Food Microbiol* **33**, 271 (2013)
28. K. Kapsopoulou, A. Mourtzini, M. Anthoulas, and E. Nerantzis, *World J Microbiol Biotechnol* **23**, 735 (2007)
29. Á. Benito, F. Calderón, F. Palomero, and S. Benito, *Food Technol Biotechnol* **54** (2016)
30. S. Benito, *Molecules* **21** (2016)
31. R. Escribano, L. González-Arenzana, J. Portu, P. Garijo, I. López-Alfaro, R. López, P. Santamaría, and A. R. Gutiérrez, *J Appl Microbiol* **124**, 1521 (2018)
32. K. Kapsopoulou, A. Kapaklis, and H. Spyropoulos, *World J Microbiol Biotechnol* **21**, 1599 (2005)
33. F. Comitini, M. Gobbi, P. Domizio, C. Romani, L. Lencioni, I. Mannazzu, and M. Ciani, *Food Microbiol* **28**, 873 (2011)
34. A. Hranilovic, J. M. Gambetta, L. Schmidtke, P. K. Boss, P. R. Grbin, I. Masneuf-Pomarede, M. Bely, W. Albertin, and V. Jiranek, *Sci Rep* **8**, 14812 (2018)
35. S. Benito, *Appl Microbiol Biotechnol* **102**, 6775 (2018)
36. J. J. Moreno and R. A. Peinado, *Química Enológica*, A. Madrid Vicente (Mundi Prensa, Madrid, 2010)