

Influencia sobre composición, propiedades espumantes y calidad sensorial

Levaduras secas inactivadas en el tiraje de vinos espumosos

POR LAURA MEDINA-TRUJILLO^a, ELENA GONZÁLEZ-ROYO^a,
NATHALIE SIECKOWSKI^b, JOSÉ M. HERAS^b,
JOAN MIQUEL CANALS^a Y FERNANDO ZAMORA^a

^aDpto. Bioquímica y Biotecnología, Facultad de Enología de Tarragona,
Universitat Rovira i Virgili

^bLallemand Bio

Existen diversas bebidas efervescentes entre las cuales se incluyen las bebidas gasificadas, la cerveza y evidentemente los vinos espumosos. Su efervescencia y su espuma son muy distintas. Así, las bebidas gasificadas presentan generalmente una efervescencia muy tumultuosa, con burbujas groseras y una persistencia de la espuma relativamente corta. En el lado opuesto encontramos la cerveza, con una efervescencia débil, burbujas muy finas y una espuma extremadamente persistente. Pues bien, los vinos efervescentes presentan propiedades intermedias, lo cual es muy importante para garantizar sus características organolépticas.

Debemos tener en cuenta que la efervescencia y la espuma no son únicamente atributos visuales ligados a la belleza del vino, sino que influyen de manera significativa en las sensaciones que se perciben en el paladar (Vanrell *et al.*, 2002). Una bebida gasificada con una efervescencia tumultuosa y de burbujas grandes dará lugar a una sensación de agresividad en la boca. De la misma manera, perderá rápidamente su efervescencia, dado el rápido desprendimiento de gas observado en este tipo de producto. Por el contrario, un vino efervescente de calidad, presentará en boca un agradable cosquilleo acompañado por la sensación de cremosidad que genera su espuma. Por estas razones, la efervescencia deberá ser suficientemente persistente para mantener estas sensaciones, el tiempo necesario para que el consumidor disfrute de su degustación.

Resulta por tanto evidente que la calidad de un vino espumoso está fuertemente condicionada por sus características espumantes. Ligier-

Belair, 2001; Zamora, 2003). Por esta razón, los elaboradores de vinos espumosos están especialmente interesados en entender de qué dependen las propiedades espumantes de sus vinos y en cómo pueden incidir para mejorarlas. De hecho, la bibliografía al respecto es abundante, pero los conocimientos actuales no han permitido todavía resolver completamente el problema. Así sabemos que algunos componentes del vino como el etanol (Esteruelas *et al.*, 2015) y los lípidos (Dussaud *et al.*, 1994; Gallart *et al.*, 2002) ejercen un efecto negativo sobre sus características espumantes, mientras que las proteínas (Cilindre *et al.*, 2010; Esteruelas *et al.*, 2015) y las manoproteínas (Moreno-Arribas *et al.* 2000, Martínez-Lapuente *et al.* 2013) favorecen la estabilidad de la espuma. En concreto, proteínas y manoproteínas, al ser sustancias anfipáticas, estabilizarían el film de las burbujas gracias a que orientarían su parte hidrófila hacia el exterior del líquido y su parte hidrófoba hacia el gas interior (Schramm, 2005).

Por todos es sabido que los vinos espumosos elaborados mediante el método tradicional desarrollan la segunda fermentación o toma de espuma dentro de la botella y que se mantienen en crianza en rima, en contacto con las lías, un tiempo mínimo que depende de la reglamentación de su denominación de origen. La razón es bien simple, el contacto de las lías con el vino espumoso conlleva un enriquecimiento de sustancias liberadas por las levaduras gracias al proceso de autólisis. Entre las sustancias que se liberan destacan las proteínas, las manoproteínas y los polisacáridos, que como se ha comentado parecen ejercer un efecto muy positivo sobre la estabilidad de la espuma (Cilindre *et al.*, 2010; Esteruelas *et al.*, 2015).

En los vinos espumosos amparados por la Denominación de Origen Cava, el tiempo mínimo

de crianza establecido es de 9 meses si bien los cavas de gran calidad acostumbran a mantenerse sobre lías mucho más tiempo. De hecho la D.O.P. Cava establece los términos de “reserva” y “gran reserva” para los cavas que han sido criados un mínimo de 15 o 30 meses respectivamente. Es también un hecho constatable que en la actualidad los cavas de larga crianza están siendo muy valorados por la crítica y el mercado. La razón es bien simple, el contacto prolongado del cava con las lías le otorga una mayor complejidad aromática y gustativa y, sobre todo, logra una perfecta integración del gas carbónico logrando una magnífica textura y cremosidad en boca.

El proceso natural de autólisis de las levaduras es el principal responsable de todos estos cambios. Sin embargo, las largas crianzas son laboriosas y muy costosas para los elaboradores y por esta razón existe un interés en técnicas que permitan obtener una mejor espuma en menor tiempo. Dentro de las diferentes posibilidades existentes destaca la utilización de levaduras secas inactivadas como fuente suplementaria de proteínas, manoproteínas y polisacáridos (Vanrell *et al.*, 2002; Martínez-Lapuente *et al.*, 2013). De hecho en el mercado existen numerosos productos a base de levaduras que se comercializan para tal objetivo. Sin embargo, no existen apenas estudios científicos sobre este tema que avalen su verdadera utilidad. Por esta razón el objetivo de este estudio fue el de determinar si la suplementación con levaduras secas inactivadas durante el tiraje permite verdaderamente mejorar las propiedades espumantes del cava.

Materiales y métodos

Elaboración del vino base: El vino base fue elaborado en la bodega experimental de la Facultad de Enología de la Universidad Rovira i Virgili en Constantí (Tarragona) con uvas de la variedad Macabeo procedentes de los viñedos de Juvé & Camps SL en Espiells [D.O.P. Cava; 41°27' 1.8972" (N) y 1°49' 6.6216" (E)] durante la vendimia 2013. Las uvas fueron vendimiadas a mano, estrujadas y prensadas con un rendimiento de 0,6 l/kg. El mosto fue sulfitado inmediatamente con 30 mg/l (3 g/hl) y filtrado por un filtro rotativo de vacío. La primera fermentación se rea-

lizó a temperatura controlada ($18 \pm 1^\circ\text{C}$) en un tanque de 100 litros mediante la inoculación de 250 mg/l (25 g/hl) de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Lalvin QA23®, Lallemand Inc., Montreal, Canadá). Una vez finalizada la fermentación alcohólica, el vino base fue sulfitado con 20 mg/l (2 g/hl) y trasegado a un tanque hermético donde se mantuvo a 4°C .

Elaboración del cava: La producción del vino espumoso (cava) fue realizada mediante el método tradicional con el vino base seis meses después del final de la primera fermentación. Para ello, el vino base fue adicionado con 22 g/l de sacarosa, 30 mg/l de bentonita (3 g/hl) como coadyuvante para favorecer el removido (Adjuvant 83; Station Oenotechnique du Champagne, Epernay, Francia) y 2 millones de células/ml de levaduras previamente adaptadas al medio (Lalvin EC1118®, Lallemand Inc., Montreal, Canadá). Se prepararon un total de 36 botellas. A 12 de ellas se les adicionó 30 mg/l (3 g/hl) de levaduras secas inactivadas (LSI) de *Saccharomyces cerevisiae* (Optimumwhite™, Lallemand Inc., Montreal, Canadá). A otras 12 botellas se les adicionó 30 mg/l (3 g/hl) de una LSI experimental de *Torulaspora delbrueckii* TD291 (Lallemand Inc., Montreal, Canadá). A las 12 botellas restantes se les adicionó el volumen de agua equivalente al utilizado en la adición de las LSI y fue considerado como control de referencia. Las botellas fueron cerradas con chapa y obturador, tras lo cual se mantuvieron en posición horizontal a la temperatura de la cava de crianza ($14 \pm 2^\circ\text{C}$). Tras 9 meses, las botellas fueron trasladadas a un pupitre donde se procedió a su removido y degüelle.

Preparación de las muestras para los análisis: Las muestras tanto de vino base como de cava fueron centrifugadas a 12.000xg a 4°C durante 15 minutos (Sorvall RC-5C, Heraeus, Hanau, Alemania) para garantizar su limpieza y eliminar el gas carbónico disuelto.

Parámetros estándar: El grado alcohólico adquirido (% v/v) se determinó mediante ebullometría (GAB systematic analytical, Barcelona, España). La acidez total y la acidez volátil de determina-

ron mediante los métodos recomendados por la OIV [25]. El pH se midió con un pH meter Basic-20 (CRISON, Barcelona, España). El glicerol y los azúcares fermentables (D-glucosa y D-fructosa) fueron determinados mediante el uso de kits enzimáticos (R-Biopharm AG., Darmstadt, Alemania).

Determinación de las propiedades espumantes:

Las muestras de vino base o cava se atemperaban a 18°C durante 24 horas antes del análisis. Las propiedades espumantes se determinaron mediante el uso de equipo Mosalux (Station Oenotechnique de Champagne, Epernay, Francia). Brevemente, 100 ml de la muestra (vino base o cava) se introducía en una probeta provista de una cerámica porosa donde se inyectaba CO₂ a un flujo constante de 115 ml/min y a una presión constante de 2 bares. Se determinaron dos parámetros: la altura máxima (Hm) y la altura estable (Hs) de la espuma (Maujean *et al.* 1990). Hm representa la espumabilidad o capacidad del vino para producir espuma, mientras que Hs representa la estabilidad de la espuma. Ambos parámetros se expresan en mm. Todos los análisis se hicieron por triplicado.

Análisis de proteínas mediante HRSEC-DAD:

El análisis de proteínas se realizó por exclusión molecular mediante cromatografía líquida de alta resolución (HRSEC) mediante la metodología previamente descrita por Canals *et al.* (1998). Las proteínas fueron cuantificadas con un matriz de diodos (diode array; DAD) como detector (230 nm) usando albúmina de suero bovino (Sigma-Aldrich, Madrid, España) como patrón externo. Esta técnica permite determinar la concentración de proteínas y su distribución molecular.

Análisis de polisacáridos mediante HRSEC-RID:

El análisis de los polisacáridos se realizó por exclusión molecular mediante cromatografía líquida de alta resolución (HRSEC) con un detector de índice de refracción (RID) usando la metodología previamente descrita por Ayestarán *et al.* (2004). Al igual que ocurría con las proteínas, esta técnica permite determinar la concentración de polisacáridos y oligosacáridos.

Análisis sensorial: Todos los análisis sensoriales se llevaron a cabo en la sala de catas de la Facultad de Enología de Tarragona (Universidad Rovira i Virgili) la cual está diseñada de acuerdo con la norma UNE 87004.197. La cata se realizó con copas de degustación oficiales (ISO 3591.1977). Los vinos espumosos fueron catados por 12 expertos enólogos mediante test triangular de acuerdo con la norma UNE ISO 4120.1983. Se realizaron dos test triangulares en los que las muestras eran servidas en un orden al azar a los diferentes degustadores. El primer test triangular era para comparar el cava control con el cava suplementado con LSI de *S. cerevisiae* y el segundo para compararlo con el cava suplementado con LSI de *T. delbrueckii*. El principal objetivo era saber si los catadores eran o no capaces de distinguir cuál era el cava diferente. El segundo objetivo era determinar entre los catadores que habían acertado cuál era la muestra que preferían.

Estadística: Todos los resultados se expresan como la media aritmética $\pm$ la desviación estándar de tres réplicas. Para la comparación entre valores se utilizó en análisis ANOVA de un factor y el test de Turkey usando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 19 software (International Business Machines S.A., Madrid, España). El nivel de significatividad de los test triangulares se determinó mediante el método de Jackson (2002).

Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra los parámetros convencionales del vino base y de los cavas obtenidos. Los niveles de glucosa + fructosa del vino base y de los diferentes cavas fue en todos los casos inferior a 0,5 g/l lo que indicaría que la primera y en su caso la segunda fermentación fueron completadas con éxito. Como era de esperar, el grado alcohólico de los vinos espumosos fue alrededor de 1,3% mayor que en el vino base. Este incremento correspondería a la transformación de los 22 g de azúcar/l que se adicionaron con el licor de tiraje al vino base con una conversión de 16,9 g de azúcar/l por grado alcohólico adquirido. Asimismo, la concentración de glicerol, la acidez volátil y el pH aumentaron significativamente en los cavas mientras que la acidez total disminuyó de forma ligera pero sig-

Tabla 1. Influencia de la suplementación con levaduras secas inactivas durante la segunda fermentación en los parámetros generales de los vinos espumosos

Parámetro	Vino Base	Vino Espumoso		
		Control	+ LSI Sc	+ LSI Td
Glucosa + Fructosa (g/l)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Etanol (%)	10,7 ± 0,11 A	12,0 ± 0,1 B	11,9 ± 0,33 B	12,0 ± 0,20 B
AT (g/l)	5,68 ± 0,01 B	5,25 ± 0,06 A	5,30 ± 0,04 A	5,20 ± 0,04 A
pH	2,81 ± 0,01 A	3,03 ± 0,01 B	3,02 ± 0,01 B	3,02 ± 0,01 B
AV (g/L)	0,18 ± 0,01 A	0,22 ± 0,02 B	0,22 ± 0,01 B	0,23 ± 0,02 B
Glicerol (g/L)	4,70 ± 0,30 A	5,80 ± 0,36 B	6,65 ± 0,22 C	6,84 ± 0,54 C

Todos los datos están expresados como la media aritmética de tres réplicas ± desviación estándar. + LSI-Sc: suplementado con levaduras secas inactivas de *Saccharomyces cerevisiae*; + LSI-Td: suplementado con levaduras secas inactivas de *Torulaspora delbrueckii*; AT: acidez total expresada como g de ácido tartárico/L; AV: acidez volátil expresada como g de ácido acético/L. Letras diferentes indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

nificativa. Estos cambios entre los cavas y el vino base pueden considerarse como lógicos y coincidentes con los descritos en la bibliografía (Pueyo *et al.*, 1995; Esteruelas *et al.*, 2015).

No se detectaron diferencias significativas en los niveles de etanol, acidez total, acidez volátil ni pH entre los cavas suplementados con LSI y el cava control. Sin embargo, sí que se observó que los niveles de glicerol eran significativamente

superiores en los cavas suplementados con LSI, tanto de *S. cerevisiae* como de *T. delbrueckii*, que en el cava control.

La Figura 1 muestra los resultados correspondientes a los parámetros de la espuma del vino base y de los diferentes cavas. Como era de esperar, la altura máxima de la espuma (Hm) de todos los cavas era significativamente menor que la de su vino base. Esta drástica disminución de

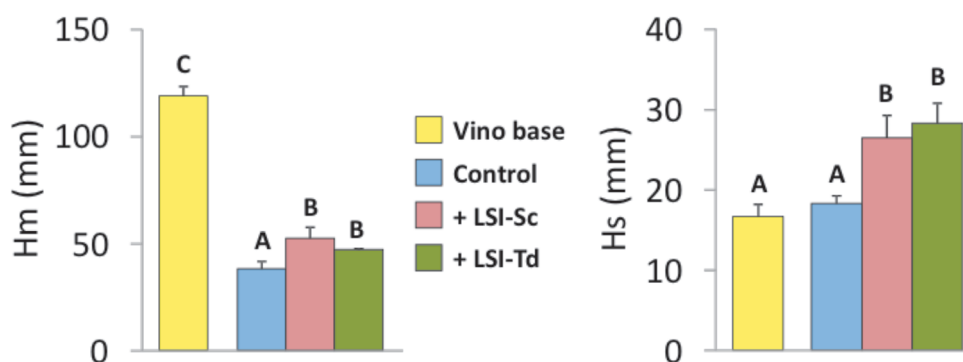


Figura 1: Influencia de la suplementación con levaduras secas inactivas durante la segunda fermentación sobre las propiedades de la espuma de los vinos espumosos.

Todos los datos están expresados como la media aritmética de tres réplicas ± desviación estándar. Hm: altura máxima de la espuma; Hs: altura estable de la espuma. + LSI-Sc: suplementado con Levaduras secas inactivas de *Saccharomyces cerevisiae*; + LSI-Td: suplementado con Levaduras secas inactivas de *Torulaspora delbrueckii*. Letras diferentes indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Hm, ya descrita en estudios previos (Pueyo *et al.*, 1995; Esteruelas *et al.*, 2015), ha sido atribuida al aumento del etanol producido durante la segunda fermentación y a la absorción de proteínas por la bentonita utilizada con coadyuvante de removido (Vanrell *et al.*, 2007). En cambio, la altura estable de la espuma (Hs) fue similar o superior en los cavas que en el vino espumoso.

La suplementación con LSI, tanto de *S. cerevisiae* como de *T. delbrueckii*, originó cavas con mejores propiedades espumantes que el cava control. Así, tanto Hm como Hs fueron significativamente superiores en los vinos espumosos suplementados con ambas LSI que en su correspondiente control. Hay que señalar que el incremento tanto de Hm como de Hs fue similar en los cavas suplementados con LSI de *S. cerevisiae* y los suplementados con LSI de *T. delbrueckii*. Estos datos coinciden con los previamente observados por otros autores (Vanrell *et al.*, 2005; Nuñez *et al.*, 2006; Martí-Raga *et al.*, 2016) utilizando diversos derivados de levaduras de la

especie *S. cerevisiae*. No obstante, otros autores (Pérez-Magariño *et al.*, 2015) no obtuvieron resultados concluyentes por lo que existe una cierta discrepancia en la utilidad o no de las LSI para mejorar la espuma de los vinos espumosos. Estas discrepancias probablemente sean debidas a la gran variabilidad de derivados de levadura existentes en la actualidad que presentan con diferentes aplicaciones y por tanto pueden ejercer efectos distintos en el vino. En ese sentido nuestros resultados son muy claros y muestran que la suplementación con las LSI específicas estudiadas en el tiraje produce una clara mejoría de las propiedades espumantes en los cavas.

La Figura 2 muestra la concentración en proteínas del vino base y sus correspondientes cavas. Los resultados muestran claramente que la concentración en proteínas totales disminuyó enormemente en todos los cavas respecto del vino base. Esta disminución se observó en todas las fracciones de proteínas si bien fue especialmente drástica en la fracción de baja masa

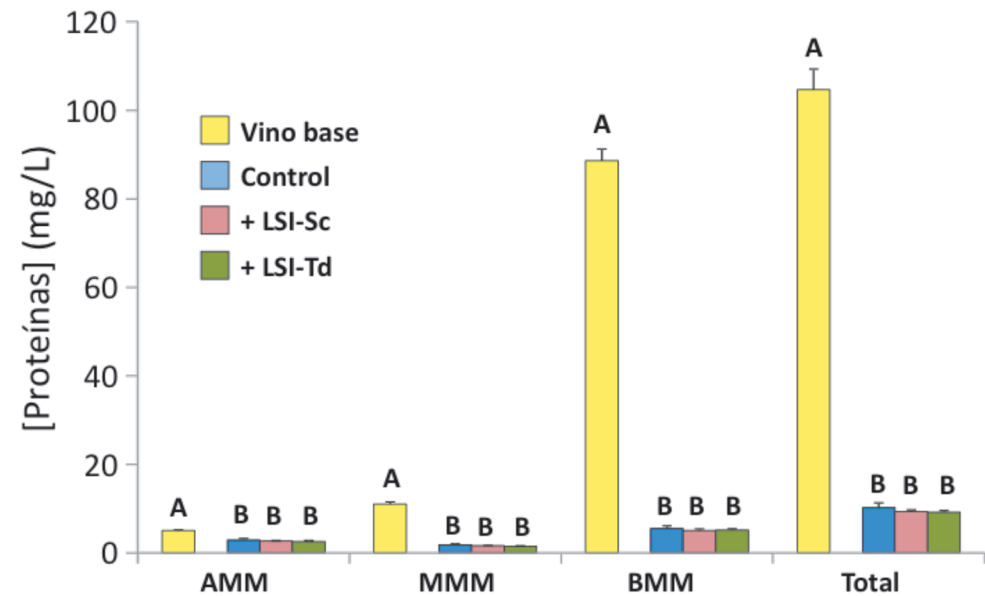


Figura 2: Influencia de la suplementación con levaduras secas inactivas durante la segunda fermentación sobre las proteínas de los vinos espumosos.

Todos los datos están expresados como la media aritmética de tres réplicas $\pm$ desviación estándar. MM: Masa molecular; AMM: Fracción de alta masa molecular ($MM > 80$ kDa); MMM: Fracción de masa molecular media (80 kDa $> MM > 60$ kDa); BMM: Fracción de baja masa molecular ($MM < 60$ kDa). + LSI-Sc: suplementado con Levaduras secas inactivas de *Saccharomyces cerevisiae*; + LSI-Td: suplementado con Levaduras secas inactivas de *Torulaspora delbrueckii*. Letras diferentes indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

molecular (BMM). Esta disminución de la concentración de proteínas ha sido atribuida al efecto desproteinizante de la bentonita usada como coadyuvante de removido y muy probablemente esta sea también la causa de la disminución de Hm observada tras la toma de espuma (Vanrell *et al.*, 2007).

No se observaron diferencias significativas en la concentración de proteínas de los cavas suplementados con ambas LSI. En este sentido hay que señalar que algunos estudios previos han mostrado que la suplementación con LSI en el tiraje de los vinos espumosos condujo a un incremento de la concentración en proteínas (Vanrell *et al.*, 2002), mientras que en otros este efecto no fue detectado (Pérez-Magariño *et al.*, 2015). En nuestro caso no se observaron diferencias entre el cava control y los otros dos suplementados con las dos LSI probablemente debido a que la disminución de proteínas generada en los cavas era tan elevada que rozaba el límite de sensibilidad del método analítico.

La Figura 3 muestra la concentración en polisacáridos del vino base y los diferentes cavas. Al igual que ocurría en el caso de las proteínas, los cavas presentaban una concentración en polisacáridos y oligosacáridos significativamente menor que en su correspondiente vino base, si bien en este caso la caída no era tan drástica. Esta disminución fue similar en todos los cavas fuesen o no suplementados con LSI. Otros autores (Moreno-Arribas *et al.*, 2010; Martínez-Lapiente *et al.*, 2013) observaron también una disminución en los polisacáridos tras la toma de espuma que podrían estar relacionados con una cierta precipitación causada por el incremento de alcohol originado en la segunda fermentación y/o a una absorción por parte de los coadyuvantes de removido.

No se observaron tampoco diferencias en la composición en polisacáridos de los cavas suplementados con LSI respecto del cava control. En ese sentido otros estudios han mostrado un comportamiento errático en la concentración

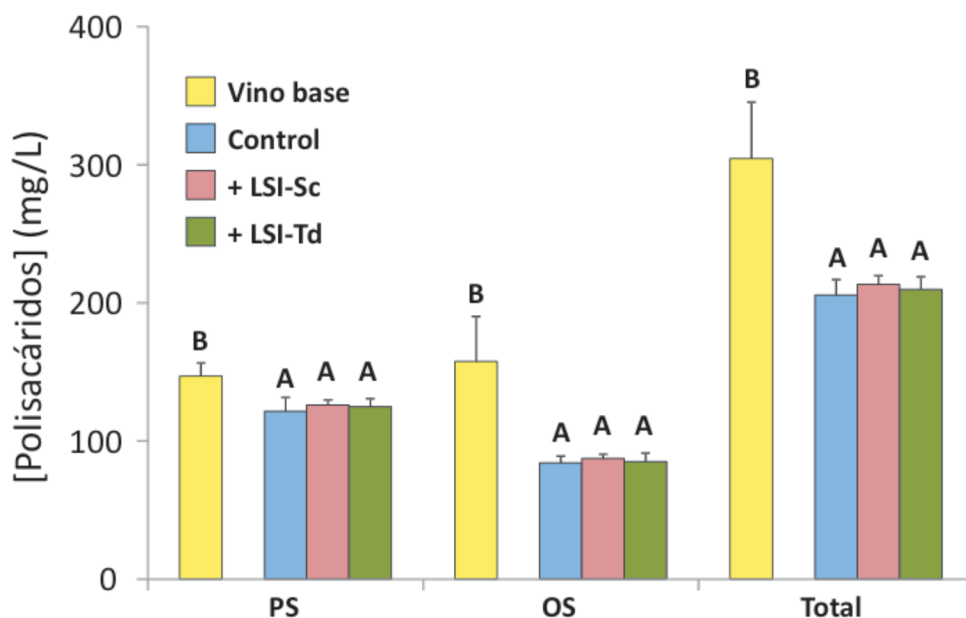


Figura 3: Influencia de la suplementación con levaduras secas inactivas durante la segunda fermentación sobre los polisacáridos y oligosacáridos de los vinos espumosos.

Todos los datos están expresados como la media aritmética de tres réplicas $\pm$ desviación estándar. MM: masa molecular; PS: Polisacáridos (MM > 5 kDa); OS: Oligosacáridos (MM < 5 kDa). + LSI-Sc: suplementado con Levaduras secas inactivas de *Saccharomyces cerevisiae*; + LSI-Td: suplementado con Levaduras secas inactivas de *Torulaspora delbrueckii*. Letras diferentes indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Tabla 2. Resultados del análisis sensorial comparativo (test triangular) entre los vinos espumosos suplementados con levaduras secas inactivas y el control

Test Triangular	Identificaciones positivas	<i>p</i>	Preferencias		
			Control	+ LSI Sc	+ LSI Td
Control vs + LSI Sc	9/12	0.01	5	4	-
Control vs + LSI Td	11/12	<0,001	3	-	8

en polisacáridos de vinos tranquilos y espumosos suplementados con LSI (Martínez-Lapiente *et al.*, 2013; Martí-Raga *et al.*, 2016), si bien otros estudios han mostrado claramente que la suplementación con LSI enriquece los vinos en polisacáridos (González-Royo *et al.*, 2013). Cómo ya se comentó anteriormente, estas diferencias pueden ser debidas a la gran diversidad de LSI presentes en el mercado.

Finalmente, la Tabla 2 muestra los resultados de la degustación de los diferentes vinos espumosos. Nueve de los 12 catadores fueron capaces distinguir entre el cava suplementado con LSI de *S. cerevisiae* y el cava control. Este resultado es significativo ($p < 0,01$) y demuestra por tanto que los dos cavas eran diferentes bajo el punto de vista sensorial. De entre los catadores que fueron capaces de diferenciar cuál era la muestra distinta, 5 prefirieron el cava control y 4 el cava suplementado con LSI de *S. cerevisiae*, por lo que se puede hablar de un empate técnico en cuanto a sus preferencias, ya que los degustadores no se decantaban por una de las muestras de forma clara.

Los resultados fueron mucho más claros al comparar el cava control con el suplementado con LSI de *T. delbrueckii*. Concretamente 11 de los 12 catadores fueron capaces de distinguir entre ambos cavas lo que permite afirmar que las muestras eran distinguidas de forma muy significativa ($p < 0.001$). Además 8 de los 11 catadores que eran capaces de distinguir entre las muestras prefirieron el cava suplementado con LSI de *T. delbrueckii* lo que indica claramente que este cava era mejor valorado desde el punto de vista sensorial.

Conclusiones

La suplementación con LSI en el momento del tiraje permite obtener cavas a los nueve meses de crianza con mejores características espumantes. Tanto las LSI de *S. cerevisiae* como las de *T. delbrueckii* mostraron prestaciones similares en cuanto a la mejoría de los parámetros espumantes. Un panel de cata entrenado fue capaz de distinguir de forma significativa los cavas suplementados con LSI respecto del cava control y prefería de forma clara el cava suplementado con LSI de *T. delbrueckii*. Se puede concluir por tanto que la suplementación con LSI en el momento del tiraje es una interesante herramienta para mejorar la espuma de los vinos espumosos y potencialmente la calidad sensorial.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por CDTI (Programa CIEN) mediante el proyecto “Nuevas estrategias vitivinícolas para la sostenibilidad y el incremento de la competitividad del sector en el mercado internacional (VINySOST 2014)”. Los autores también desean agradecer a Juvé & Camps SA por proporcionar las uvas.

Bibliografía

- AYESTARÁN B, GUADALUPE Z AND LEÓN D. 2004. Anal Chim Acta, 513, 29–39.
- BRISSENET, F. Y MAUJEAN, A. 1993. Am. J. Enol. Vitic., 44, 297–301.
- CANALS, J.M., AROLA, L. Y ZAMORA, F. 1998. Am. J. Enol. Vitic., 49, 383–388.

- CILINDRE, C., LIGER-BELAIR, G., VILLAU-
ME, S., JEANDET, P. Y MARCHAL, R.
2010. *Anal. Chim. Acta*, 660, 164–170.
- DUSSAUD, A., ROBILLARD, B., CARLES,
B., DUTEURTRE, B. Y VIGNES-ADLER, M.
1994. *J. Food Sci.*, 59, 148–151.
- ESTERUELAS, M., GONZÁLEZ-ROYO, E.,
KONTOUDAKIS, N., ORTE, A., CANTOS,
A., CANALS, J.M. Y ZAMORA, F. 2015. *J.
Sci. Food Agric.*, 95, 2071–2080.
- GALLART, M., LÓPEZ-TAMAMES, E.,
SUBERBIOLA, G. Y BUXADERAS, S. 2002.
J. Agric. Food Chem., 50, 7042–7045.
- GONZÁLEZ, E., URTASUN, A., GIL, M.,
KONTOUDAKIS, K., ESTERUELAS, M.,
FORT, F., CANALS, J.M., ZAMORA, F.
2013. *Am. J. Enol. Vitic.*, 64, 268–273.
- JACKSON, R.S. 2002. Quantitative (techni-
cal) wine assessment. In: Taylor SL (ed)
Wine tasting. A professional handbook, 1st
ed. Academic Press, Hong Kong.
- LIGIER-BELAIR, G. (2001) *Bull. de la S.F.P.*,
127, 9-11.
- MARTÍNEZ-LAPUENTE, L., GUADALUPE,
Z., AYESTARÁN, B., ORTEGA-HERAS, M. Y
PÉREZ-MAGARIÑO, S. 2013. *J. Agric.
Food Chem.*, 61, 12362–12373.
- MARTI-RAGA, M., MARTIN, V., GIL, M.,
SANCHO, M., ZAMORA, F., MAS, A., BEL-
TRAN, G. (2016) *J. Sci. Food Agric.*, 96,
4962-4972.
- MAUJJEAN, A., POINSAUT, P., DANTAN,
H., BRISSONET, F. Y COSSIEZ, E. 1990.
Bulletin de l'OIV 711–712, 405–426.
- MORENO-ARRIBAS, V., PUEYO, E., NIE-
TO, F.J., MARTIN-ALVAREZ, P.J. Y POLO,
M.C. 2000. *Food Chem.*, 70, 309–317.
- NÚÑEZ, Y.P., CARRASCOSA, A.V., GONZÁ-
LEZ, R., POLO, M.C. Y MARTÍNEZ-RODRÍ-
GUEZ, A. 2006. *J. Agric. Food Chem.*, 54,
7898–7903.
- PÉREZ-MAGARIÑO, S., MARTÍNEZ-
LAPUENTE, L., BUENO-HERRERA, M. Y
AYESTARÁN, B. 2015. *J. Agric. Food
Chem.*, 63, 5670-5681.
- PUEYO, E., MARTÍN-ALVAREZ, P.J., POLO,
M.C. (1995) *Am. J. Enol. Vitic.*, 46,
518–524.
- SCHRAMM, L.L. 2005. *Emulsions, Foams
and Suspensions: Fundamentals and Appli-
cations*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- VANRELL, G., CABANILLAS, P., ALBET, S.,
CANALS, J.M., AROLA, L. Y ZAMORA, F.
2002. *Rev. Fr. OEnol.*, 196, 30-36.
- VANRELL, G., CANALS, R., ESTERUELAS,
M., FORT, F., CANALS, J.M. Y ZAMORA, F.
(2007) *Food Chem.*, 104, 148–155.
- VANRELL, G., ESTERUELAS, M., CANALS,
J.M., ZAMORA, F., POINSAUT, P., SIECZ-
KOWSKI, N. Y LEBOEUF, D. (2005) *Rev.
Oenol.*, 114, 28-30.
- ZAMORA F. (2003) *Enólogos*, 23, 28-32.