

ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA SIN ALCOHOL CON LEVADURAS *NO-SACCHAROMYCES*

**Autores: Alguacil Cubero, María; Atanasio Ros, Rosa; Cabrillana Durán, Francisco
José; del Pozo Maraver, Elena; Gómez Paricio, Adrián**

Alumnos de la 53ª promoción del Máster en Ciencia y Tecnología Cervecera impartido en la Universidad de Alcalá de Henares en colaboración con la Escuela Superior de Cerveza y Malta (ESCYM).

Este trabajo forma parte del trabajo fin del Máster tutorizado por la profesora de Teoría de las Transformaciones Cerveceras, Dª Ana García Marti

RESUMEN

En los últimos años, la industria cervecera está involucrada en un período de cambio impulsado por la alta demanda de diversos productos por parte de los clientes. En gran medida propiciada por el crecimiento mundial de la cerveza artesanal y las microcerveceras, lo cual ha llevado a que las grandes cerveceras también sean partícipes de este cambio. Esta renovación está extendiendo el interés por el uso de las levaduras *no-Saccharomyces* para fermentar cerveza con el fin de impactar en nuevos aromas y sabores. Así como la posible aplicación en la elaboración de cervezas con bajo contenido alcohólico o cervezas sin alcohol con características organolépticas que satisfagan al cliente.

Este estudio se ha centrado en realizar experimentos a nivel de laboratorio de cinco cepas. El objetivo de los ensayos fue analizar la reducción del extracto, la caída del pH, la población y viabilidad de las levaduras, así como los subproductos de la fermentación. A partir de estos resultados se seleccionaron dos de ellas para fermentarlas en dos tanques diferentes con el mismo mosto consiguiendo dos cervezas con perfiles organolépticos diferentes.

Palabras clave: *no-Saccharomyces*, cerveza sin alcohol, *T. delbrueckii*, *S. ludwigii*, *P. kluyveri*.

¿Por qué una cerveza SIN?

Las estadísticas están demostrando que en España la cerveza se consume con responsabilidad, por su sabor y propiedades y no buscando el contenido alcohólico. Es por esto que el **consumo creciente de cervezas sin alcohol** están aportando significativamente a las ventas del sector cervecero español, siendo además, el ¹primer país productor y consumidor en la Unión Europea. Ésta es una de las razones que ha propiciado que este trabajo se centre en la **innovación de un nuevo método** para la elaboración de cervezas SIN con características organolépticas deseadas por los consumidores. Se sustenta en que existe una oportunidad para que una parte notable del mercado se interese por este producto. ¹Actualmente el 14% de la cerveza consumida en España es cerveza sin alcohol.

La primera toma de contacto con los diferentes métodos de elaboración consistió en realizar un análisis del estado del arte de las diferentes alternativas para producir este tipo de cervezas. Principalmente las alternativas son: (1) supresión del alcohol durante la fase de fermentación, (2) extracción del alcohol en cervezas terminadas y (3) utilización de levaduras caracterizadas por generar poco alcohol en el proceso fermentativo. Por

motivos de disponibilidad de equipamiento y esencialmente por el carácter innovador, se apostó por analizar el comportamiento de diferentes levaduras *no-Saccharomyces*.

¹ Fuente: *Cerveceros de España: Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España, 2017.*

INTRODUCCIÓN

El uso de levaduras *no-Saccharomyces* como cultivo inicial puro para la elaboración de cerveza ha estado creciendo rápidamente en los últimos años. Esto es resultado de un creciente interés mundial en la cerveza artesanal y cerveceras más grandes que buscan diferentes levaduras, a menudo levaduras no tradicionales, para innovar en nuevas cervezas.

A diferencia de las cepas *no-Saccharomyces*, la domesticación de las levaduras *Saccharomyces* para la fabricación de cerveza ha llevado varios milenios para que los cerveceros produzcan cervezas consistentes y hayan conseguido controlar aromas, sabores y condiciones de fermentación más deseables. Actualmente, los fabricantes de cerveza pueden elegir entre una amplia gama de diferentes levaduras de elaboración de cerveza de las cuales se conocen bien las condiciones de preparación: pH del mosto, interacciones de la malta, temperatura, proteínas, etc. Sin embargo, de las levaduras *no-Saccharomyces* aún hay muy poco conocimiento de dichos parámetros de fermentación, en relación a los aromas y sabores producidos. La mayoría de los pasos dados hacia la domesticación de la levadura principal *Saccharomyces* pueden ahora realizarse mucho más rápido y con mayor facilidad gracias al conocimiento del comportamiento de las vías del metabolismo del azúcar y de los aminoácidos, así como la

formación de sustancias aromáticas tales como alcoholes superiores, ésteres, fenoles, ácidos y monoterpenos. Sin embargo, a pesar del poco conocimiento de estas características para las levaduras *no-Saccharomyces*, hay muchas oportunidades para los cerveceros. Por ejemplo, la especie *no-Saccharomyces* se puede usar en la producción de cerveza baja en alcohol (0,5-1,2% v/v) y cerveza sin alcohol (<0,5% v/v), como es el objetivo de este proyecto. Debido a su potencial para la viabilidad comercial, cerveceros e investigadores han comenzado a buscar nuevas levaduras en diferentes ambientes utilizando diferentes técnicas.

LEVADURAS

Las levaduras *no-Saccharomyces* más relevantes estudiadas hasta la fecha que están relacionadas con la baja producción de alcohol son las siguientes: *Torulospora delbrueckii* (en adelante *T. delbrueckii*), *Saccharomyces ludwigii* (en adelante *S. ludwigii*), *ZygoSaccharomyces rouxii* (en adelante *Z. rouxii*) y *Pichia kluyveri* (en adelante *P. kluyveri*).

De las cuales para ese proyecto, se descartó *Z. rouxii* porque aunque es capaz de consumir etanol, lo hace en condiciones aeróbicas. Se consideró inviable trabajar en estas condiciones pues favorecería la oxidación de la cerveza.

A continuación, se aportan más datos bibliográficos de las levaduras seleccionadas para este proyecto:

	<i>Pichia kluyveri</i>	<i>Torulospora delbrueckii</i>	<i>Saccharomyces ludwigii</i>
Año	1960	1904	1904

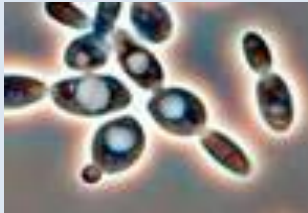
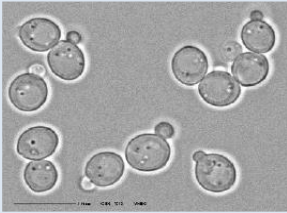
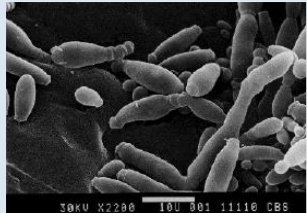
Género	Pichia	Torulaspora	Saccharomyces
Especie	<i>Pichia kluyveri</i>	<i>Torulaspora delbrueckii</i>	<i>Saccharomyces ludwigii</i>
Aislada	Frutas y olivas	Suelo, uvas, árbol	Suelo, frutas, insectos
Forma	Ovoideas alargados	Esférico/Elipsoide	Limón con puntas romas
Tamaño	25,53411 μm	2,1563 μm	4.7382 μm
Foto			
Datos	Capaz de fermentar solo glucosa. Además produce altas concentraciones de compuestos de sabores deseables y cantidades muy bajas de etanol	Conocida en la industria del vino por agregar más frutuosidad al sabor de esta bebida	No fermenta la maltosa o maltotriosa, produciendo bajos niveles de alcohol pero sabores muy deseables en la cerveza
Mosto	8,3 °P y pH = 5,4	12-13 °P y pH = 5,5	7-7,5 °P y pH = 4,5
T (°C)	18-22 °C	18-20 °C	15-20 °C
t (días)	7-21 días	7 días	2 días
% alc	0,7 % v/v	0,5-2,8 % v/v	0,45-0,68 % v/v
Cepas estudiadas	Lev 1: <i>P. kluyveri</i> anómala Lev 2: <i>P. kluyveri</i> CBS 188	Lev 3: <i>T. delbrueckii</i> 291 Lev 4: <i>T. delbrueckii</i> NCYC 608	Lev 5: <i>S. ludwigii</i> CBS 821

Tabla 1 Datos de las levaduras de estudio

De forma paralela al análisis bibliográfico de estas levaduras, se contactó con varios centros para consultar la disponibilidad de cepas de estas levaduras así como el medio de conservación. Dichos centros son: **DOEMENS**, centro alemán donde tienen una línea de investigación que está testando diferentes levaduras con el mismo objetivo que este proyecto; **Departamento de Química y Tecnología de los Alimentos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid**, en adelante UPM. Están trabajando en un proyecto con cinco levaduras no-*Saccharomyces*, cuyo objetivo es analizar el comportamiento de estas levaduras en

refermetación en botella, independientemente del grado alcohólico que obtengan; y el **Centro de Colección Española de Cultivos Tipo de la Universidad de Valencia**, en adelante CETC.

Del estudio bibliográfico realizado previamente se destaca la importancia de conocer la capacidad de fermentación de cada cepa, así como el perfil de nutrientes para un buen crecimiento y proceso fermentativo. Esto, será lo que determine la composición del mosto y por tanto la curva de maceración. En la siguiente tabla se muestran la afinidad por diferentes cadenas de azúcares.

	<i>P. kluyveri</i> anómala	<i>Pichia</i> <i>Kluyveri</i> CBS 188	<i>T. delbrueckii</i> 291	<i>T. delbrueckii</i> NCYC 608	<i>S.</i> <i>ludwigii</i> CBS 821
Glucosa	+	+	+	+	+
Lactosa	-	-	-	-	-
Galactosa	-	-	variable	variable	-
Rafinosa	-	-	variable	variable	+
Sacarosa	-	-	variable	variable	+
Trehalosa	-	-	variable	variable	na
Maltosa	-	-	variable	variable	-

ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio y posterior elaboración de la cerveza se llevaron a cabo en las instalaciones de la Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta (AETCM), situadas en el Parque Tecnológico de la Universidad de Alcalá. La planta piloto con una capacidad de 0.5 hl de cerveza por cocimiento, fue instalada por la empresa Talleres Landaluce S.A.

De las catas realizadas por los miembros del equipo en los ensayos de laboratorio se determinó:

Lev 1: Desagradable aroma a pintura característico del acetaldehído.

Lev 2: Ciertas notas frutales características del acetato de isoamilo aunque predominaban

aromas y sabores desagradables. Es posible que para diferentes °P y temperatura de fermentación evolucione de otra manera.

Lev 3: Notas frutales, persistente amargo en boca y sin sabores desagradables.

Lev 4: Notas a lúpulo, dejando al final gusto resinoso y aceitoso.

Lev 5: Notas frutales, dulce en boca y sin olores ni sabores desagradables.

Cepa de levadura	Ensayo 1				Ensayo 2			
	°p inicial	°p final	% aten	% alc	°p inicial	°p final	% aten	% alc
L1 <i>P. kluyveri</i> anómala	11,10	8,90	19,80	0,13	9,20	7,85	14,60	0,60
L2 <i>P. kluyveri</i> CBS 188	11,10	8,90	19,80	0,13	9,20	8,40	8,70	0,30
L3 <i>T. delbrueckii</i> 291	11,10	8,60	22,50	0,34	9,20	7,85	14,70	0,63
L4 <i>T. delbrueckii</i> NCYC 608	11,10	2,40	78,38	4,86	No se utilizó			
L5 <i>S. ludwigii</i> CBS 821	11,10	10,60	4,50	0,68	9,20	7,90	14,10	0,60

Tabla 2 Resultados de los ensayos de laboratorio

Se opta por elegir las levaduras que más contenido alcohólico aportan y al mismo tiempo aseguran estar por debajo del 1% de alcohol v/v. Pues se considera que el alcohol

confiere mejores características organolépticas. Siguiendo este criterio, las levaduras que cumplen estos requisitos son la 1, 3 y 5. La levadura 4 se descarta desde el

primer ensayo por el elevado contenido alcohólico para este proyecto. Teniendo en cuenta el análisis sensorial, la levadura 1 se descarta por aportar sabores y aromas más desagradables. Finalmente, **se decide trabajar en planta piloto con las levaduras 3 y 5** pues se han obtenido resultado similares en cuanto a atenuación, extracto real, % alcohol, sabores y aromas agradables

FABRICACIÓN

Molienda

La molienda de la malta fue realizada mediante un molino de martillos con un tamiz de 2 mm de luz para optimizar su rendimiento en el filtro prensa. A destacar en esta etapa, el barrido con CO₂ en el molino para minimizar fenómenos de oxidación y así evitar el envejecimiento prematuro de la cerveza final provocado por el aldehído trans-2-nonenal y la oxidación de los lípidos.

	100,0%	10,5	79,0%
Materia Prima	%	EBC	Rto %
Pilsen	19,54%	9	82,00%
Munich	37,31%	15	80,80%
Malta de trigo	37,04%	3,5	76,00%
Malta cara-50	6,11%	40	76,00%

Tabla 3 Maltas usadas

Premaceración y maceración

El empaste de las maltas se realizó con un volumen de 35 litros de agua a una temperatura de 45°C con una relación de empaste de 3 a 1.

El tiempo de empaste fue de 16 min y se añadió 7,6 g de CaCl₂. En los primeros minutos de la maceración, se añadió H₃PO₄ para ajustar el pH

hasta los 5,4 para optimizar el rango de trabajo de las enzimas. La curva de maceración elegida fue la curva 1 ensayada en el laboratorio porque fue la que obtuvo mejores resultados de atenuación. Debido a la limitación de potencia de la placa de inducción durante la subida de temperatura no fue capaz de alcanzar la temperatura de 72°C con la rampa propuesta en el programa. Aumentando así la etapa β-amilolítica, y fomentando la actuación de la β-amilasa.



Figura 1 Curva de maceración

Filtración y dilución del mosto

El objetivo era elaborar un mosto de 8,5 °P para el inicio de la fermentación. Para conseguirlo, se tomó la decisión de trabajar en el filtro con la carga de malta equivalente de diseño y posteriormente hacer una dilución. Así se aseguraba el correcto funcionamiento y evitar posibles desmoronamientos de la torta.

Se obtuvo un primer mosto denso de 19,3°P. El riego se llevó a cabo con una cantidad de 48,5 litros de agua hasta obtener unas últimas aguas de 3,4°P. El extracto del mosto filtrado fue de un valor de 11,3°P. Desde el tanque de espera se trasegaron 35 litros de mosto a la olla de ebullición donde se diluyó con agua caliente hasta un volumen de 69 litros y 7,9 °P.

Ebullición y Whirlpool

La ebullición se prolongó durante 60 min a una temperatura de 98°C. Al iniciarse la ebullición del mosto, se adicionaron Northern Brewer y Citra para aportar amargor. Y a 10 minutos de finalizar la ebullición, se añadieron Amarillo y más Citra para aportar aromas. Para finalizar, se abrió la tapa de la caldera para liberar los volátiles indeseables.

Lúpulo	%	% AA
Northern Brewer	37,4	7,00
Citra	7 %	12,40
Amarillo	34,4	7,60
Citra	21,2	12,40

Tabla 4 Lúpulos usados

En los ensayos de laboratorio se observó que la caída de pH en fermentación no era suficiente como para garantizar la limitación de la proliferación de microorganismos patógenos. Por ello, se añadió H₃PO₄ para bajar el pH hasta 4,9. Una vez terminada la etapa de ebullición, se transfirió el mosto caliente al whirlpool para separar las partículas sólidas en suspensión, formando el trub caliente en el fondo y centro del tanque. Al inicio de este proceso se añadió CaCl₂ y ZnSO₄ para favorecer el rendimiento de la levadura durante la fermentación y guarda. Se obtuvo un volumen de 65 litros de mosto con extracto de 8,3°P.

Enfriamiento, fermentación y guarda

Tras el whirlpool se hizo el trasiego a los fermentadores pasando por un filtro de malla de 1mm de luz y por los intercambiadores de placas. La estación está dividida en dos fases, una con agua de red y otra con agua glicolada a 15 °C, consiguiendo enfriar el mosto hasta los 20 °C. Y continuación se oxigenó en línea con oxígeno alimentario.

El objetivo de este proyecto era inocular el mosto con las dos levaduras seleccionadas en los ensayos de laboratorio. Por lo que el mosto, se dividió en dos fermentadores igualando el nivel por vasos comunicantes.

Parámetros	ud	Valor analítico
Extracto	°P	8,40
pH	pH	4,93
Color	EBC	14,20
Amargo	IBU	50,46
Polifenoles	mg/l	144,40
FAN	mg/l	106,8
N ₂ coagulable	mg/100ml	3,22

Tabla 5 Parámetros del mosto frío

Una vez igualados los niveles, se inocularon ambas levaduras. La dosis de siembra fue de 500 ml de mosto con un recuento de 129,9·10⁶ cel/ml de *T. delbrueckii* y 166·10⁶ cel/ml de *S. ludwigii*, siendo al inicio de la fermentación de 2,6·10⁶ cel/ml y 3,2·10⁶ cel/ml respectivamente.

Se hizo seguimiento diario, ambas fermentaciones duraron 3 días. En este punto, se programó la etapa de guarda que duró otros 5 días. Para ello se bajó la temperatura a 6°C en una rampa de descenso durante 24 horas y se estacionó a esa temperatura durante 2 días y luego hasta los 2 °C hasta completar la guarda. Por limitaciones en la capacidad de la instalación no se pudieron alcanzar los 0°C.

En las siguientes gráficas se muestra la evolución de la cerveza y levaduras durante la fermentación.

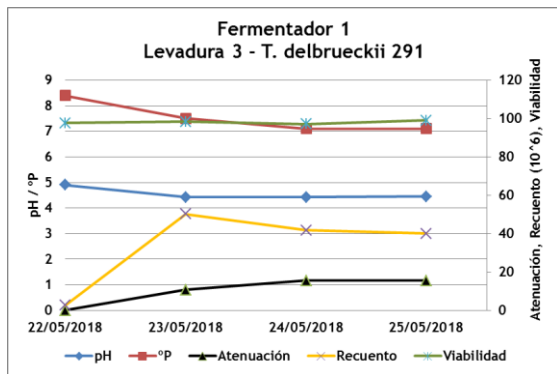


Figura 2 Resultados del fermentador 1

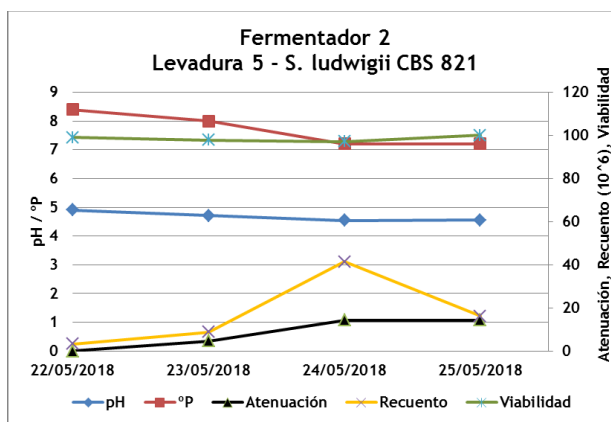


Figura 3 Resultados del fermentador 2

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de las temperaturas durante la fermentación y guarda.

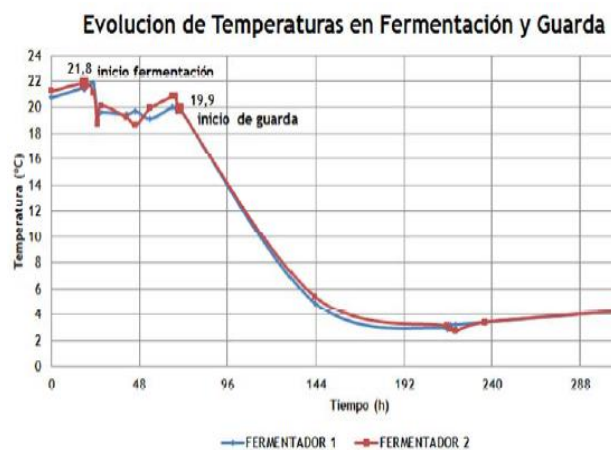


Figura 4 Temperatura de fermentación y guarda

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos de ambas cervezas al final de la guarda.

Parámetros	Ud	F1	F2
pH	pH	4,47	4,72
Color	EBC	12,00	12,00
Amargo	IBU	42,00	44,00
FAN	mg/l	95,2	92
Alcohol v/v	%	0,57	0,54
E aparente	%	7,135	7,11
Recuento	10 ⁶ cel/ml	13,48	1,68
Viabilidad	%	80,00	60,00

Tabla 6 Resultados final de guarda

El diacetilo y la pentanodiona son subproductos que normalmente son producidos por la levadura durante la fermentación y después son reabsorbidos por la misma levadura. Aunque la presencia del diacetilo también se puede deber a una contaminación por bacterias, la bibliografía indicaba que estos compuestos no suelen estar muy presentes en fermentaciones con este tipo de levaduras. Ha sido confirmado en las mediciones de la cerveza final.

Filtración y carbonatación

Desde el punto de vista de la floculación, la experiencia ha sido que ambas son poco floculantes. Puesto que la población tras 5 días de guarda era significativa, llevó a tomar la decisión de filtrarla para eliminar las levaduras y evitar futuros problemas de autólisis. Para ello, se utilizó un filtro de placas de celulosa con un diámetro de poro de 15 µm. Al mismo tiempo la cerveza se carbonató en línea por medio de una piedra porosa a 2 bares de presión. Tras la filtración se trasegó al tanque BBT y se almacenó durante 3 días a 3,5 °C en una sala fría.

Envasado y cerveza final

Desde el BBT se realizó el envasado en botellas de 33 cl mediante una llenadora neumática con una única cánula. El cerrado de las botellas se realizó con una cerradora manual y tapón corona de 26 mm. Para evitar problemas de contaminación, las botellas fueron esterilizadas previamente y los tapones se introdujeron en un baño con un limpiador higiénico con oxígeno activo.

Los parámetros medidos en la cerveza final envasada se muestran en la siguiente tabla. Además de los comunes realizados durante la elaboración de la cerveza, al tratarse de una cerveza sin alcohol, atendiendo a las exigencias de la ley, se debe determinar los valores nutricionales para que esté a disposición de los consumidores en la etiqueta. Para ello, se requiere determinar; cenizas para el cálculo de hidratos de carbono, grasas con un equipo soxhlet, azúcares reductores mediante el test enzimático por espectrofotometría, sodio como medida indirecta de la sal y proteínas.

Item	Parámetros	Ud	C1 T. delbrueckii 291	C2 S. ludwigii CBS 821
1	Calorías	kJ	127,00	130,00
2	Alcohol v/v	%	0,52	0,52
3	Alcohol w/w	%	0,40	0,40
4	E original	%	7,85	7,96
5	E real	%	7,06	7,16
6	E aparente	%	6,860	6,96
7	DO	%	1,03	1,03
8	pH	pH	4,61	4,70
9	Color	EBC	10,60	10,40
10	Amargos	IBU	28,89	24,95
11	Espuma	s	320	340
12	CO ₂	g/l	4,63	4,47
13	SO ₂	ppm	0,48 [□]	0,87 [□]
14	Diacetilo	ppb	22,05	8,1 [□]
15	Pentanodiona	ppb	8,8	7,1 [□]
16	Cenizas	g/100ml	0,1284	0,0824 [□]
17	Proteínas	g/100ml	0,32 [□]	0,31 [□]
18	Grasa	g	0	0
19	Grasas saturadas	g	0	0
20	Sal común	g	0,01 [□]	0,01 [□]
21	Volumen	ml	328,76	331,7

Tabla 7 Parámetros de la cerveza final

Evaluación sensorial

Como parte fundamental del proceso de aseguramiento de los objetivos de este proyecto, es decir, lograr diferentes características organolépticas a la de las cervezas actuales del mercado. Para ello, se realizaron dos tipos de estudios que se complementaron entre sí de las dos cervezas que se envasaron:

1. Análisis instrumental del contenido de los distintos compuestos del metabolismo primario y secundario aportado a la cerveza por las levaduras estudiadas. Para ello, nos apoyamos en el equipo del departamento de tecnología de los alimentos de la UPM para lo cual utilizaron un equipo cromatográfico de gases GC 6850 (Agilent Technologies, California, EEUU).

Compuestos Volátiles		C1 Torulo	C2 Ludwigii
1	Acetaldehído	19,29	1,49
2	Metanol	4,97	3,40
3	1-propanol	5,06	4,07
4	Acetato de etilo	1,50	1,76
5	2-butanol	0,00	0,00
6	Isobutanol	4,74	3,24
7	Acido acético	0,00	0,00
8	1-butanol	0,00	0,00
9	Acetoina	0,00	6,78
10	2-metil-1-butanol	0,00	7,34
11	3-metil-1-butanol	7,87	5,17
12	Acetato de isobutilo	0,00	2,37
13	4-metil-2-pentanol	50,00	50,00
14	Butirato de etilo	21,70	0,00
15	Lactato de etilo	48,83	44,76
16	2-3 butanodiol	101,65	83,42
17	Acetato de isoamilo	83,06	53,07
18	Hexanol	4,43	4,18
19	Alcohol 2-feniletílico	139,54	110,62
20	Acetato 2-feniletilo	14,44	13,71

Tabla 8 Compuestos volátiles en ppm

2. Análisis sensorial del perfil descriptivo realizado por un panel profesional de cata formado por cinco hombres y una mujer.

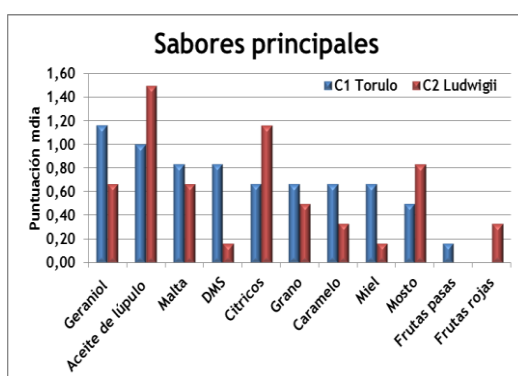


Figura 5 Sabores principales de la cerveza 1 y 2

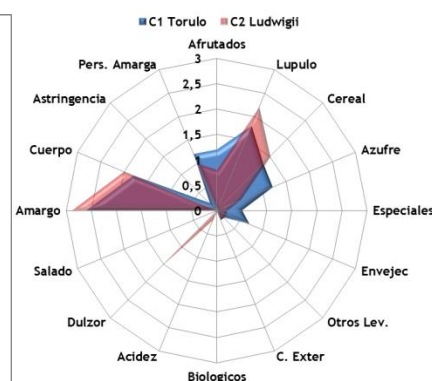
Etiquetado

Para el diseño de la etiqueta se siguieron las directivas 2000/13/CE y la 90/496/CEE con el fin de informar y proteger al consumidor contra

Las conclusiones que se obtuvieron de este panel se describen a continuación:

La **cerveza “Freedom Sin Torulo”** es bastante equilibrada en la que existe gran predominio de aromas a malta, miel y caramelo. El amargo resalta entre los demás atributos, siendo un amargo floral y a toques cítricos algo persistentes en boca. Tiene una consistencia de espuma, cuerpo y carbonatación adecuados. Su aspecto visual es brillante con tonos de color dorado. **Se obtuvo una nota media de un 6.**

En la **cerveza “Freedom Sin Ludwigii”** se encuentran gran predominio de aromas a malta, y caramelo. Sin embargo aquí ya la miel no resalta tanto como en **“Freedom Sin Torulo”**. Es más afrutada con toques tropicales, cítricos y a frutas rojas produciendo que el amargor, sin ser tan persistente, resalte junto al dulzor de forma equilibrada. Tiene una consistencia de espuma y un cuerpo adecuado así como su carbonatación. El aspecto visual es similar a Torulo. **Se obtuvo una nota media de un 6,5** siendo mejor considerada por todo el panel.



prácticas abusivas y facilitar la elección adecuada, además de garantizar las transacciones comerciales.

de levaduras abre nuevas rutas de elaboración de cervezas sin alcohol con sabores y aromas deseados y diferentes a los habituales.

De igual manera, se confirma la importancia de una adecuada elección de las materias primas. La combinación de maltas ha proporcionado color, sabor y espuma deseada. Los lúpulos junto a la actuación de las levaduras han fomentado la aparición de sabores y aromas frutales y cítricos.

Por otro lado, se confirma que es fundamental un análisis de las curvas de maceración para conseguir producir el perfil de azúcares adecuado. Se han detectado diferencias significativas de atenuación y producción de alcohol entre ambas curvas ensayadas.

También se ha visto necesario la importancia de optimizar el proceso fermentativo de las levaduras ampliando los estudios del comportamiento de éstas desde el punto de vista de los azúcares, los FAN, oxigenación al inicio de la fermentación, producción de compuestos secundarios, temperatura de fermentación, pH y capacidad de floculación de las levaduras.

Este proyecto se ha enfrentado al problema de la poca floculación con el riesgo de la posible autólisis de las levaduras, teniendo que filtrar para evitarlo. Es por ello, que es una línea de investigación más, concerniente a este tipo de levaduras.

El control microbiológico es de suma importancia en el sector cervecero, destacando el requerimiento en las cervezas sin, ya que la asepsia de éstas puede estar condicionada por la ausencia de alcohol.

Las conclusiones desde el punto de vista organoléptico alcanzadas en las puntuaciones del panel de catas confirman la obtención de

sabores florales y frutales según los objetivos específicos marcados. Además de la ausencia de contaminaciones desde el punto de vista sensorial.

Por último, desde el punto de vista económico, al tratarse de un proceso con etapas similares al de la elaboración de cervezas con alcohol, se estaría reduciendo en la inversión inicial de los equipos específicos para la extracción del alcohol, además de reducir los costes de operación. Por ello, para confirmar la viabilidad tecno-económica sería necesario hacer un análisis económico que confirme estas premisas.

Agradecimientos

Agradecemos a los profesores de la UAH y ESCYM que han compartido sus experiencias en este apasionado mundo de la cerveza contribuyendo a nuestra formación. En especial a **Virginia Rojano, Marta García, María Felisa Bartolomé y Ana García** por sus tutorías y ayuda durante el desarrollo del proyecto. A **Esther Santalla** como apoyo en planta piloto y laboratorio.

Destacar la colaboración del Departamento de Química y Tecnología de los alimentos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la UPM, en especial a **M^a Jesús Callejo y Enrique Arévalo**.

De igual manera, son muchas **las empresas** que han abierto sus puertas compartiendo su conocimiento a través de clases, seminarios y visitas a sus instalaciones. En especial agradecemos a: **Cargill, S.L.U., Intermalta S.A., Maltas seleccionadas, S.L., Grupo Mahou San Miguel, Heineken España S.A.**, y a todas las que contribuyeron desinteresadamente en nuestra etapa de formación como participantes en el desarrollo del Máster por su

disposición, entrega y por el buen trato que hemos recibido de todas ellas.

Un agradecimiento expreso a la **Asociación Española de Técnicos de Cerveza y Malta (AETCM)** y a la **Escuela Superior de Cerveza y Malta (ESCYM)** por la posibilidad que nos han brindado de realizar este Máster y poder formar parte del apasionante mundo de la cerveza.