

La evolución de los azúcares y de la densidad del mosto durante la fermentación de la cerveza

Simone Bellassai químico - enólogo y experto en análisis de alimentos y bebidas en CDR – **Lisa Mearelli** investigadora en el laboratorio químico de CDR "Francesco Bonicolini"

Uno de los problemas cruciales en el control del proceso de elaboración de la cerveza es la correcta identificación del final de la fermentación. Otra etapa en el proceso de elaboración, que puede causar problemas desagradables, es el cebado.

Los investigadores del laboratorio químico de CDR "Francesco Bonicolini" realizaron un estudio sobre la producción de cerveza con el objetivo de:

- comprender cuál es el mejor método para determinar la conclusión del proceso de fermentación;
- determinar la concentración de azúcar residual para evitar problemas en la fase de cebado.

Con este fin se estudiaron la evolución de los azúcares fermentables y la variación de la densidad del mosto durante la fermentación.

Azúcares en el mosto de cerveza

Cuatro tipos de azúcares pueden estar presentes en el mosto de la cerveza:

- **Glucosa y fructosa:** azúcares simples completamente fermentables por las levaduras utilizadas en la elaboración de la cerveza;
- **Maltosa:** azúcar complejo, formado por dos moléculas de glucosa, completamente fermentables por las levaduras;
- **Maltotriosa:** azúcar complejo, formado por tres moléculas de glucosa, completamente fermentable solo por algunas levaduras utilizadas en la elaboración de la cerveza, mientras que para otras es parcialmente fermentable o incluso no fermentable;
- **Sacarosa:** azúcar complejo, formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, fácilmente fermentable por las levaduras.

La glucosa, la fructosa, la maltosa y la maltotriosa son azúcares naturalmente presentes en el mosto de cerveza porque derivan del almidón de la cebada que se utiliza durante el macerado. En cambio, el cervecero puede agregar la sacarosa si la receta de la cerveza a producir lo prevé.

Materiales y métodos

Para realizar este estudio fue necesario producir en el laboratorio dos mostos de cerveza con las siguientes recetas.

RECETA CERVEZA 1

INGREDIENTES	TIPO	CANTIDAD
Extracto de malta	<i>Extracto de malta líquido extra ligero</i>	489 gr
Extracto de malta seco	<i>Extracto de malta seco extra ligero</i>	250 gr
Lúpulo	<i>Lúpulo en pellet Cascade</i>	22 gr
Cáscaras de naranja	<i>Cáscaras de naranja dulce secas</i>	23 gr
Sacarosa	<i>Azúcar de cocina</i>	50 gr
Agua	**	5 l
Levadura	<i>White labs WLP002 (atenuación: 63-70%)</i>	8,7 ml

RECETA CERVEZA 2

INGREDIENTES	TIPO	CANTIDAD
Extracto de malta	<i>Extracto de malta líquido extra ligero</i>	489 gr
Extracto de malta seco	<i>Extracto de malta seco extra ligero</i>	250 gr
Lúpulo	<i>Lúpulo en pellet Cascade</i>	22 gr
Cáscaras de naranja	<i>Cáscaras de naranja dulce secas</i>	23 gr
Sacarosa	<i>Azúcar de cocina</i>	50 gr
Agua	**	5 l
Levadura	<i>White labs WLP099 (atenuación: 80-100%)</i>	7,6 ml

** El agua utilizada tenía las siguientes características:

- Calcio: 115 mg/l
- Alcalinidad: 98 ppm
- Sulfatos: 256 mg/l
- Cloruros: 56 mg/l

Las levaduras utilizadas

Las cervezas se produjeron siguiendo para ambas una receta de cervezas IPA, excepto por lo que atañe a la levadura. De hecho, en una cerveza se agregó al mosto una levadura de baja atenuación, mientras que en la otra se agregó una levadura de alta atenuación. Las características de las levaduras utilizadas son las siguientes:

- *White Labs WLP002*: es una levadura de baja atenuación (63-70%) que por lo tanto no logra convertir todos los azúcares en alcohol. El rango de temperatura ideal para la fermentación es de 18-20°C, tiene una floculación muy alta y una tolerancia media al alcohol (5-10% v/v). Una ligera producción de diacetilo es común. Debido a la alta floculación de esta cepa, la cerveza acabada estará clara y el fermentador podrá recoger fácilmente la levadura para su uso futuro. Es común que esta levadura aparezca coagulada.
- *White Labs WLP099*: es una levadura de alta atenuación (80-100%) que por lo tanto puede transformar casi todos los azúcares en alcohol. El rango de temperatura ideal para la fermentación es de 18-20.5°C, tiene una floculación de grado medio y una tolerancia al alcohol muy alta (>15% v/v). Este tipo de levadura ha sido modificado genéticamente para aumentar el porcentaje de atenuación.

A partir de la inoculación de las dos levaduras para cada mosto, se recolectaron datos sobre la concentración de los azúcares fermentables y sobre la densidad del mosto.

Instrumentos de medición y análisis

Para determinar la variación en la concentración de **los azúcares fermentables**, se utilizó **CDR BeerLab®**, mientras que para medir la variación de la densidad del mosto se usó un densímetro digital portátil. Gracias a estos dos instrumentos, se recolectaron datos del inóculo de la levadura hasta que se consideró que la fermentación había terminado. Para cada sesión de análisis, se extrajeron aproximadamente 10 ml de mosto

en fermentación de cada recipiente y se filtraron con filtros de papel. Se requirieron aproximadamente 3 ml de muestra para la medición de la densidad, mientras que para el análisis con CDR BeerLab® fue suficiente usar aproximadamente 1 ml para completar todos los análisis.

Los resultados

Las siguientes tablas muestran los datos recolectados divididos por cada mosto.

Instrumento de medición	CDR BeerLab®						Densímetro
Fecha y hora del análisis	Glucosa + Fructosa + Maltosa (g/l)	Glucosa + Fructosa + Maltosa + Sacarosa (g/l)	Glucosa (g/l)	Fructosa (g/l)	Maltosa (g/l)	Sacarosa (g/l)	Densidad (g/cm³)
04/01/2019 16:30	85	92,2	12,7	2,6	69,7	7,2	1,055
07/01/2019 09:30	66	73,5	6,9	6,7	52,4	7,5	1,048
07/01/2019 15:00	70	70,7	6,7	5,6	57,7	0,7	1,044
08/01/2019 09:00	35	37,1	0,1	2	32,9	2,1	1,029
08/01/2019 14:30	31	31,1	i.l.m.	1,1	29,9	0,1	1,025
09/01/2019 08:30	20	20	i.l.m.	i.l.m.	20	i.l.m.	1,020
09/01/2019 14:30	18	<18	i.l.m.	i.l.m.	18	i.l.m.	1,011
09/01/2019 16:30	19,5	<18	i.l.m.	i.l.m.	19,5	i.l.m.	1,019
10/01/2019 09:00	16,2	<18	i.l.m.	i.l.m.	16,2	i.l.m.	1,017
10/01/2019 14:30	16,3	<18	i.l.m.	i.l.m.	16,3	i.l.m.	1,017
11/01/2019 09:30	15	<18	i.l.m.	i.l.m.	15	i.l.m.	1,015
11/01/2019 14:30	13,6	<18	i.l.m.	i.l.m.	13,6	i.l.m.	1,015
14/01/2019 08:30	12,7	<18	i.l.m.	i.l.m.	12,7	i.l.m.	1,014
15/01/2019 08:30	12,7	<18	i.l.m.	i.l.m.	12,7	i.l.m.	1,015

Tabla 1. Datos relativos al mosto núm. 1 (i.l.m. = datos inferiores al límite mínimo detectable por el instrumento)

Instrumento de medición	CDR BeerLab®						Densímetro
Fecha y hora del análisis	Glucosa + Fructosa + Maltosa (g/l)	Glucosa + Fructosa + Maltosa + Sacarosa (g/l)	Glucosa (g/l)	Fructosa (g/l)	Maltosa (g/l)	Sacarosa (g/l)	Densidad (g/cm³)
04/01/2019 16:30	87	96,3	12,8	2,7	71,5	9,3	1,054
07/01/2019 09:30	59	59,9	0,5	1,4	57,1	0,9	1,037
07/01/2019 15:00	55	56,6	0,4	0,8	53,8	1,6	1,034
08/01/2019 09:00	37	37,2	0,3	0,1	36,6	0,2	1,025
08/01/2019 14:30	35	34,6	0,3	0,1	34,6	i.l.m.	1,023
09/01/2019 08:30	16,5	<18	i.l.m.	i.l.m.	16,5	i.l.m.	1,016
09/01/2019 14:30	14,4	<18	i.l.m.	i.l.m.	14,4	i.l.m.	1,014
09/01/2019 16:30	12,2	<18	i.l.m.	i.l.m.	12,2	i.l.m.	1,013
10/01/2019 09:00	6,4	<18	i.l.m.	i.l.m.	6,4	i.l.m.	1,009
10/01/2019 14:30	4,7	<18	i.l.m.	i.l.m.	4,7	i.l.m.	1,008
11/01/2019 09:30	1,7	<18	i.l.m.	i.l.m.	1,7	i.l.m.	1,006
11/01/2019 14:30	1,2	<18	i.l.m.	i.l.m.	1,2	i.l.m.	1,005
14/01/2019 08:30	1	<18	i.l.m.	i.l.m.	1	i.l.m.	1,005
15/01/2019 08:30	1	<18	i.l.m.	i.l.m.	1	i.l.m.	1,006

Tabla 2. Datos relativos al mosto núm. 2 (i.l.m.= dato inferior al límite mínimo detectable por el instrumento)

La herramienta CDR BeerLab® permite llevar a cabo dos tipos de análisis: la determinación de la suma de glucosa, fructosa y maltosa y la determinación de la suma de glucosa, fructosa, maltosa y sacarosa. Para esta investigación, sin embargo, los distintos azúcares se midieron individualmente para obtener una información completa.

A partir de los datos reportados en las tablas anteriores, es posible evaluar la tendencia de las concentraciones de azúcares fermentables presentes en el mosto de cerveza. Los primeros azúcares fermentados por las levaduras son la glucosa, la fructosa y la sacarosa. De hecho, después de cuatro días, estos tres azúcares están casi ausentes en ambos mostos. A continuación, también se fermentan la maltosa y la maltotriosa (determinada junto con la maltosa). La fermentación puede considerarse completada después de 6 días, cuando la concentración de azúcares permanece constante en 2 mediciones realizadas a 24 horas de distancia.

Como se puede ver en las tablas considerando la columna *Glucosa + Fructosa + Maltosa (g/l)*, al final de la fermentación, las levaduras actuaron de manera diferente. De hecho, al final de la acción de la levadura White Labs WLP002 (de baja atenuación) 12,7 g/l de azúcar (maltotriosa) no fermentado permanecieron en el mosto, mientras que la levadura White Labs WLP099 (de alta atenuación) permitió la fermentación de casi todos los azúcares, dejando solo 1 g/l de azúcar (maltotriosa) no fermentado en el mosto. Esta diferencia en la concentración final de azúcares, debido a las características de las levaduras utilizadas, debe tenerse en cuenta al evaluar el final de la fermentación, ya que, como puede verse en estas mediciones, la fermentación no siempre termina cuando la concentración residual de azúcares está cercana a cero.

También es importante conocer la concentración residual de azúcares al final de la fermentación para evaluar correctamente la cantidad de azúcar que se tiene que agregar a la cerveza en la fase de cebado para evitar gaseados excesivos.

El cebado es el proceso mediante el cual se agrega dióxido de carbono a la cerveza. El método de cebado más común utilizado por las cervecerías artesanales es el tipo natural; la carbonatación se obtiene agregando azúcares fermentables a la cerveza antes del embotellado. Como regla general para el cebado, se agrega una concentración que varía de 4 a 7 g/l de azúcar, ya que cada cerveza puede requerir un nivel diferente de gaseado.

Comparación entre los resultados obtenidos con el densímetro y con CDR BeerLab®

Para determinar el final de la fermentación y medir la concentración de azúcar residual, es necesario concentrarse en los últimos cuatro días de este proceso.

Tanto para la cerveza núm. 1 como para la núm. 2 se puede notar cómo la densidad del mosto detectado por el densímetro portátil en los últimos cuatro días varía de 0,001. Dado que la resolución del instrumento es de 0,001 el densímetro proporciona un dato potencialmente no significativo ya que no refleja la variación en la concentración de azúcares.

En cambio, al evaluar los resultados de los análisis obtenidos con CDR BeerLab® en los últimos 4 días de fermentación, observamos que la concentración de los azúcares fermentables detectados varía en el caso de la cerveza núm. 1 de 2,3 g/l y en el caso de la cerveza núm. 2 de 0,7 g/l.

Del estudio de los resultados de los análisis realizados, observamos que el densímetro digital portátil es bastante preciso en la evaluación de la densidad del mosto, por lo tanto, se puede utilizar para controlar el progreso de la fermentación. En cambio, para establecer el final efectivo de la fermentación es mucho más eficaz usar CDR BeerLab®, que resulta más preciso y capaz de detectar incluso las pequeñas variaciones en la concentración de azúcar que, en cambio, el densímetro portátil no puede destacar de manera efectiva.

Tener la seguridad de haber completado la fermentación es esencial para la fase de cebado.

Para evitar un gaseado excesivo, que podría dar lugar a fenómenos de gushing, es esencial asegurarse de que la fermentación haya terminado. Por lo tanto, el análisis de los azúcares fermentables es de fundamental importancia para el cálculo de la cantidad de azúcar que se tiene que agregar en la fase de cebado, obteniendo así los volúmenes de CO₂ requeridos por la receta utilizada.

Estilos de cerveza	Volúmenes de CO ₂
British ales	1,5 - 2,0
Porter, Stout	1,7 - 2,3
Belgian ales	1,9 - 2,4
Lager	2,2 - 2,7
Wheat beer	3,3 - 4,5

En particular, teniendo en cuenta las cervezas producidas, al evaluar el final de la fermentación con el densímetro, habríamos considerado un punto de fermentación adelantado, que habría dejado residuos de azúcar de 2,3 g/l en el caso de cerveza núm. 1 y 0,7 g/l en el caso de la cerveza núm. 2. Estas cantidades de azúcares fermentables residuales habrían dado lugar a 0,57 y 0,17 volúmenes de CO₂, respectivamente, lo que podría haber causado un gaseado excesivo de la cerveza.

Conclusiones

Podemos afirmar que la fermentación finaliza cuando la concentración de azúcares permanece constante durante 24 horas consecutivas. Por lo tanto, para determinar el final del proceso de fermentación, es mucho más efectivo controlar la variación de la concentración de azúcares en el mosto que la densidad.

CDR BeerLab® resulta el instrumento más adecuado para determinar la conclusión de la fermentación, ya que puede detectar incluso las variaciones de concentraciones de azúcar más pequeñas que, de lo contrario, a través de la medición de la densidad, no podríamos relevar.

Con CDR BeerLab® es posible medir la concentración exacta de azúcares residuales al final de la fermentación para evitar errores en la fase de cebado.

Enlaces útiles

[Densímetro](#)

[Determinación de los azúcares fermentables](#)

[Sistema de análisis CDR BeerLab®](#)