

Cervezas con adición de frutas y otros ingredientes no tradicionales:

características y propiedades

F. Rodríguez-Aguilar y M. M. Ramírez-Rodrigues

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Correo electrónico: fernanda.rodriguezar@udlap.mx



RESUMEN

La demanda del consumo de productos que ofrecen adecuadas características sensoriales en combinación con beneficios a la salud ha provocado que distintos estudios se enfoquen en su análisis. Actualmente, existe una amplia gama de cervezas a las que se les añaden frutos y otros ingredientes no tradicionales para volverlas únicas y especiales, que llegan a presentar mayor actividad antioxidante que las cervezas convencionales. El objetivo de esta revisión es presentar el impacto de la adición de frutas y otros ingredientes no tradicionales en el contenido total de polifenoles, actividad antioxidante, pH y etanol; así como atributos sensoriales (color, aroma y sabor) de las cervezas, mostrando su dependencia de la cantidad y tipo de presentación del ingrediente añadido, al igual que la etapa en la que dicho ingrediente se añade durante el proceso de elaboración de la cerveza.

Palabras clave: cerveza frutal, polifenoles, elaboración de cerveza, actividad antioxidante.

ABSTRACT

The consumer demand for authentic products that offer good sensory characteristics in combination with health benefits has caused different studies to focus on their analysis. Nowadays, there is a wide range of beers, added with fruits and other non-traditional ingredients, that besides making them unique and special, might also promote antioxidant activity in comparison to conventional beer. The objective of this review is to present the impact of the addition of fruits and other non-traditional ingredients, on the total polyphenol content, antioxidant activity, pH, and ethanol, as well as sensory attributes (color, aroma, and flavor) of beers, showing their dependence on the amount and type of presentation of the added ingredient, as well as the stage at which that ingredient is added during the brewing process.

Keywords: fruit beer, polyphenols, brewing process, antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

La cerveza es una bebida carbonatada popular y de las más consumidas en todo el mundo. Su proceso de elaboración varía en diferentes estilos, haciendo que la fabricación consista en técnicas muy parecidas pero independientes. Actualmente, existen cervezas a las que se les añaden frutas y otros aditivos para volverlas únicas, e incluso ofrecen un mayor contenido de nutrientes que aportan beneficios a la salud (Papazian, 2006; Salanță *et al.*, 2020).

Los autores Nardini y Garaguso (2020) sugieren que la adición de frutas frescas en el proceso de fermentación podría duplicar la actividad antioxidante del producto final provocando un aumento significativo de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y flavonoides. De esta forma, se ha demostrado que el contenido fenólico y la actividad antioxidante de la cerveza final dependen especialmente de la cantidad y calidad de las materias primas utilizadas y del proceso de elaboración; estos compuestos pueden ser responsables de la actividad antioxidante de la cerveza (Salanță *et al.*, 2020). Así, el consumo moderado de cerveza puede tener propiedades antiinflamatorias y antioxidantes (Giacosa *et al.*, 2016). Los antioxidantes de la dieta pueden ayudar a contrarrestar los efectos negativos del estrés oxidativo, y los polifenoles son de los antioxidantes dietéticos más abundantes debido a su presencia en prácticamente todas las frutas y verduras (Nardini y Garaguso, 2020).

Los cuatro ingredientes tradicionales utilizados en la elaboración de cerveza son agua, levadura, cebada malteada y lúpulo (Villacreces *et al.*, 2022). Entre las frutas y otros ingredientes no tradicionales que se llegan a agregar al proceso de elaboración de cerveza se encuentran la cereza, frambuesa, durazno, manzana, cítricos, mango, sauco, piña, fresa, zarzamora, persimón (también conocido como caqui o pèrsimo), uva, ciruela, plátano, pimienta negra, cúrcuma, maíz azul, propóleo, papa morada, entre otros, los cuales llegan a ser usados en diferentes presentaciones y cantidades, como fruta entera, puré, jugo, polvo o extracto. Incluso, el momento de adición de las frutas e ingredientes no tradicionales en el proceso de elaboración de la cerveza pueden variar de acuerdo con los resultados que se busque obtener, como el contenido total de polifenoles, actividad antioxidante, concentración alcohólica y pH; además, la adición de estos ingredientes aporta compuestos aromáticos y puede cambiar las propiedades sensoriales de la bebida como color, sabor y sensación en la boca, que dota a las cervezas frutales de características particulares. El objetivo de este artículo

de revisión es recabar la información actual alrededor de cervezas frutales y otros ingredientes no tradicionales, presentando la relación entre sus propiedades antioxidantes y sensoriales con el proceso de elaboración.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Proceso de elaboración de cerveza

Debido a su gran popularidad, la cerveza se ha convertido en la tercera bebida más consumida, después del agua y el té a nivel mundial (Salanță *et al.*, 2020). Cada uno de sus ingredientes cuenta con distintos compuestos químicos que interactúan entre ellos durante el proceso de elaboración (Villacreces *et al.*, 2022), proceso complejo que se divide en distintas etapas, como se muestra en la figura 1. En el malteado se lleva a cabo la conversión de la cebada en malta, secando la cebada y eliminando basurillas para su almacenamiento, remojo en agua, germinado y horneado para detener la germinación y desarrollar color; así como el triturado que es la molienda de la malta (Eaton, 2006). Una vez terminada la molienda, el grano malteado se somete a cocción (65-67 °C) para realizar la maceración, en la cual los gránulos de almidón se convierten por gelatinización a una forma más susceptible a digestión enzimática, las enzimas que descomponen el almidón son las amilasas; aquí se genera el agua llamada «mosto» que se obtiene mediante filtración. Posteriormente, se realiza el hervido del mosto (95 °C), en donde se esteriliza y se precipitan las proteínas, se añade el lúpulo y el contenido de almidón del mosto se hidroliza mediante un calentamiento (95 °C) con circulación y enfriamiento (Bamforth y Cook, 2019; Emerald *et al.*, 2016; Villacreces *et al.*, 2022). Enseguida, se prepara la levadura y se inocula mezclando con influencia del oxígeno y se transfiere al equipo de fermentación; aquí la levadura metaboliza los azúcares fermentables del mosto y los convierte en alcohol, produciéndose una serie de reacciones químicas y enzimáticas dentro de la célula de la levadura utilizando diferentes azúcares como glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y maltotriosa dependiendo del tipo de granos malteados; en esta etapa también se produce el dióxido de carbono (Emerald *et al.*, 2016). La maduración es la etapa en la que la cerveza se enfría y se almacena para posteriormente retirar la levadura sedimentada y otros precipitantes. Finalmente, la cerveza filtrada se envasa en botellas, latas o barriles (Eaton, 2006; Emerald *et al.*, 2016).

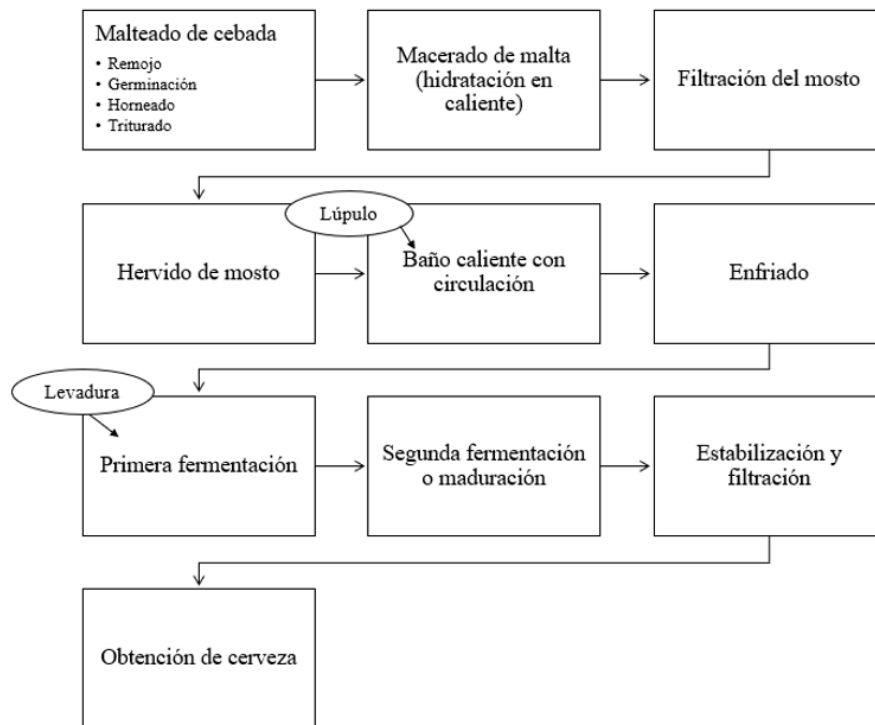


Figura 1.

Proceso general de elaboración de cerveza. Adaptada de Bamforth (2019), Emerald *et al.* (2016) y Villacreces *et al.* (2022).

2. Importancia de los polifenoles y actividad antioxidante en la cerveza

Las sustancias fenólicas de la cerveza se consideran como indicadores de calidad en su procesamiento y comercialización, ya que el tipo y la cantidad de fenoles influyen en el sabor, aroma y color (Wannenmacher *et al.*, 2018). Además, algunos polifenoles se han relacionado con importantes actividades biológicas, incluidas las antioxidantes, anticancerígenas o antimicrobianas (Nardini y Garaguso, 2020).

En la producción de cerveza, los polifenoles naturalmente se derivan de la malta y el lúpulo, aproximadamente el 70-80 % son provenientes de la malta y el 20-30 % del lúpulo (Wannenmacher *et al.*, 2018). En esta producción se llevan a cabo reacciones químicas que influyen en el rendimiento y las características finales de la bebida, entre ellas, la pérdida aproximada del 60 % del contenido fenólico de la malta (Ambra *et al.*, 2021).

Los principales compuestos fenólicos que se han identificado en la cerveza son ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzoico, cinámico y fenilacético), flavonoides (flavonoles, flavonas, flavono-

nas, flavonoles y proantocianidinas) y no flavonoides (estilbenos, calconas, lignanos y taninos hidrolizables). La evaluación del contenido total de polifenoles en la cerveza que se han estudiado durante las distintas etapas del proceso de elaboración están asociados a las diferentes materias primas, como el origen de la malta, variedades de lúpulo, levaduras, tecnologías de malteado y parámetros del proceso de elaboración de la cerveza, así como la escala del proceso ya sea a nivel laboratorio, piloto o industrial; en el ámbito industrial se reducen hasta en un 50 % los taninos y flavonoides (Carvalho y Guido, 2022). Además, los fenoles sufren cambios tanto cuantitativos como cualitativos durante todo el proceso de elaboración de cerveza; en la figura 2 se representa la ruta de los compuestos fenólicos en las fases de malteado y elaboración de cerveza. En la maceración, después de una disminución inicial, la cantidad total de fenoles aumenta de tres a cinco veces; posteriormente, los fenólicos continúan aumentando durante la maceración y la adición del lúpulo, pero disminuyen drásticamente en la ebullición del mosto, el baño caliente con circulación, la fermentación, la maduración, la estabilización y la filtración (Ambra *et al.*, 2021).

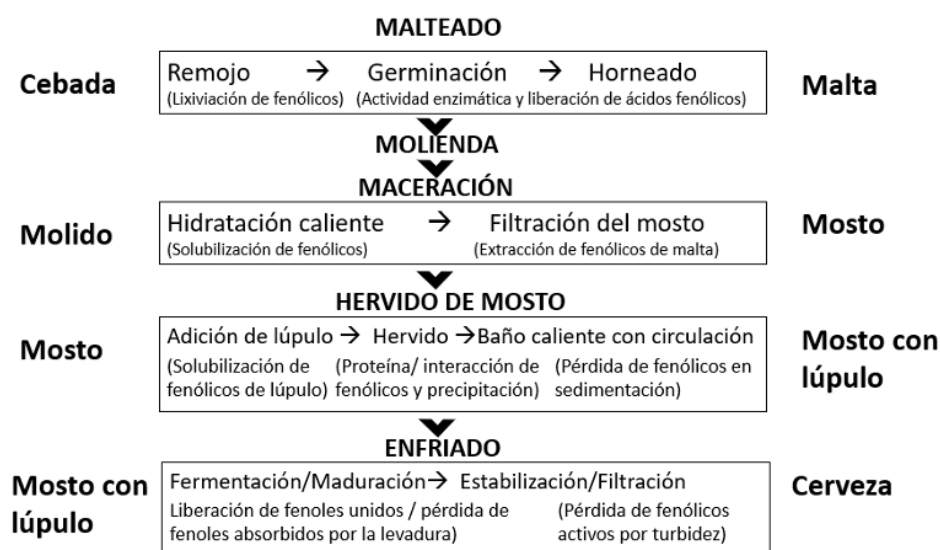


Figura 2.

Ruta de los compuestos fenólicos durante las fases de los procesos de malteado y elaboración de cerveza. Adaptada de Ambra *et al.* (2021).

El contenido fenólico y la actividad antioxidante de la cerveza final dependen especialmente de la cantidad y calidad de las materias primas utilizadas y el proceso de elaboración. Incluso, se ha demostrado que el consumo moderado de cerveza puede tener propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, presenta ciertos beneficios para la densidad ósea y también puede prevenir las enfermedades coronarias (Salanță *et al.*, 2020). Tomando en cuenta los efectos favorables y desfavorables del alcohol en la salud, la recomendación es no exceder los 30 g de etanol por día para hombres y 15 g para mujeres, es decir, aproximadamente dos vasos de cerveza para hombres y un vaso de cerveza para mujeres (Giacosa *et al.*, 2016).

Adicionalmente, los compuestos fenólicos constituyen una clase importante de metabolitos secundarios, sobre todo en función de su reconocida actividad antioxidante, que confiere calidad al alimento y potencial beneficioso para la salud humana. Estos antioxidantes neutralizan los radicales libres, inhibiendo o interrumpiendo la cadena de inicio-propagación de reacciones oxidativas, convirtiendo los radicales libres en moléculas menos

dañinas y reparando los daños oxidativos en las células humanas. La funcionalidad y estabilidad de estos fitoquímicos en el cuerpo humano dependen no solo de la cantidad, sino también de su ubicación en la matriz alimentaria, de la presencia de otros compuestos bioactivos y, principalmente, de la unión e interacción entre estos compuestos y otras moléculas (Santos-Zea *et al.*, 2019).

3. Cervezas con frutas y otros ingredientes no convencionales

3.1. Estilos de cervezas

Existen distintos estilos de cervezas entre los que destacan: a) *ale* y *stouts* de origen inglés, producidas en Estados Unidos, Escocia, Alemania y Bélgica, y b) *lager* de origen austrohúngaro, producida en Alemania, Suecia, y Estados Unidos. Las cervezas *ale* suelen tener sabores afrutados que son aportados por los ésteres formados en la etapa de fermentación, y las cervezas *lager* generalmente no tienen una concentración alta de ésteres gracias

a las cepas de levadura y las bajas temperaturas de fermentación usadas para su elaboración (Barth, 2013).

La cerveza *lambic* es una cerveza *ale*, proveniente de la región de Bélgica, donde a lo largo de los años se han ido desarrollando y surgiendo diversas contribuciones a la elaboración de cerveza, añadiéndole frutas. Es fermentada de forma natural y espontánea siendo de sabor intensamente afrutada, amarga y frecuentemente tiene notas acéticas. Con bajo contenido de dióxido de carbono, estas cervezas son turbias y se elaboran con trigo sin maltear y/o cebada malteada. Además, son secas y de cuerpo ligero, la levadura *Brettanomyces* suele estar presente en niveles moderados. Algunas de las frutas que se han incorporado son la cereza, grosella negra, melocotón, frambuesa, entre otras. La fruta puede ser usada en diferentes modalidades, ya sea entera, puré o jugo (Bamforth y Cook, 2019; DeKeersmaecker, 1996; Holbrook, 2020; Priest y Stewart, 2006). Por otro lado, la cerveza *porter* de la división *ale* es una bebida de origen inglés de sabor con carácter tostado y maltoso, de color marrón oscuro (Bamforth y Cook, 2019), de la cual se encontró un estudio realizado por Bustos *et al.*, (2019) que adicionaba tola (*Parastrephia lucida*), una planta medicinal.

En la actualidad, frecuentemente se agregan ingredientes adicionales a los elementos básicos de la elaboración de la cerveza, como lactosa, subproductos fermentados de bacterias ácido lácticas, frutas, extractos de plantas, saborizantes, colorantes, edulcorantes, entre otros. Asimismo, las frutas, los jugos y subproductos de estas se usan para hacer surtidos especiales de cervezas con varios sabores y aromas, y al agregar frutas a la cerveza se ofrecen más nutrientes con mayores efectos positivos en la salud. Incluso, se llegan a utilizar ingredientes con beneficio a la calidad, costo y aspectos sensoriales, como color o sabor (Bamforth y Cook, 2019; Salanță *et al.*, 2020).

De acuerdo con Priest y Stewart (2006), para convertir a una cerveza en única o novedosa se le pueden adicionar tanto especias como frutas que aportan compuestos aromáticos únicos e interesantes en el producto final. Sin embargo, es posible que la adición de fruta traiga consigo riesgos y desafíos, pues contiene una variedad de ácidos orgánicos y otros perfiles de levadura; por eso, es importante que la calidad de la fruta sea adecuada

para disminuir el impacto negativo. Además, la contribución de la pectina de la fruta es otro factor a considerarse en el proceso de filtración.

Muchas de las cervezas estudiadas con la adición de frutas, especias y otros ingredientes son de estilo *ale*, entre ellas *lambic* y *porter*, los cuales han sido adicionados ingredientes como baya de goji, jamaica, persimón, cereza, frambuesa, durazno, chabacano, uva, ciruela, naranja, manzana, omija, tola, membrillo, cúrcuma y maíz; y con menor incidencia *lager* con la adición de berenjena, como se observa en la tabla I.

3.2. Condiciones de proceso

En comparación con el proceso tradicional, la adición de ingredientes adjuntos se realiza en distintas partes del proceso, de acuerdo con el objetivo que se quiera obtener en cada cerveza, como se especifica en la figura 3. En los estudios analizados, se encontraron cinco momentos diferentes de adición a lo largo de la elaboración de la cerveza: macerado, previo a ebullición de mosto, previo a primera fermentación, previo a segunda fermentación y posterior a segunda fermentación (tabla I).

El objetivo de cada etapa de adición de los diferentes ingredientes es único; en el macerado se lleva a cabo el tratamiento de la malta y otros materiales amiláceos con agua caliente que permiten que las enzimas hidrolicen el almidón a azúcar. En la ebullición del mosto y adición del lúpulo, se eliminan los microorganismos no deseados, se coagula la proteína adicional y se cambian las moléculas de las resinas de lúpulo a compuestos solubles; además, se eliminan los componentes de sabor no deseados, el oxígeno disuelto y cualquier sustancia volátil que provenga de procesos anteriores (Barth, 2013). En la etapa de fermentación, el mosto se traspa a un recipiente fermentador y se añade la levadura para producir etanol, dióxido de carbono y energía para sus procesos vitales; en la primera fermentación se asimilan la mayoría de los carbohidratos del mosto y la fermentación secundaria se lleva a cabo después de la transferencia de la cerveza desde el fermentador primario con un poco de levadura y carbohidratos fermentables presentes, durante la cual se asimilan los carbohidratos residuales (Barth, 2013; Munroe, 2006).

Tabla I. Cervezas con la adición de diferentes frutos e ingredientes no tradicionales, sus compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, pH y alcohol, de acuerdo con la etapa del proceso de adición y cantidad de ingrediente

Fruto	Versión del fruto	Tipo de cerveza	Cantidad de fruto	Etapa de proceso de adición de fruto	pH	Alcohol (% vol.)	TPC (mg GAE/L)	Actividad antioxidante				Referencia
								ORAC (mmol/L TE)	TEAC (mmol/L TE)	ABTS (mmol /L TE)	FRAP (mmol /L TE)	
Baya de goji ¹	Deshidratada entera	Ale ámbar	50 g/L	Previo a ebullición de mosto	N. d.	7.10 ± 0.04	623 ± 16	16.84 ± 0.86	3.70 ± 0.27	N. d.	N. d.	Ducruet <i>et al.</i> , 2017
			50 g/L	Previo a primera fermentación		7.35 ± 0.05	373 ± 19	15.04 ± 1.71	2.87 ± 0.22			
			50 g/L	Previo a segunda fermentación		7.30 ± 0.05	415 ± 17	13.13 ± 0.82	2.95 ± 0.25			
	Deshidratada molida		50 g/L	Previo a ebullición de mosto		7.26 ± 0.06	609 ± 44	16.81 ± 0.42	3.82 ± 0.25			
			11 g/L	Posterior a segunda fermentación		5.91 ± 0.03	357 ± 14	10.03 ± 0.44	2.40 ± 8.87			
Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	Extracto secado por aspersión	Ale	5 g/L	Posterior a segunda fermentación	3.47 ± 0.10	N. d.	410.62 ± 33.63	N. d.	N. d.	6.0	N. d.	Martínez, Vegara, Herranz-López, <i>et al.</i> , 2017
		Ale	10 g/L		3.02 ± 0.10	N. d.	606.53 ± 10.28			6.0		
		Ale	20 g/L		2.73 ± 0.10	N. d.	743.16 ± 7.02			9.28		
Persimón (<i>Diospyros kaki</i> Thunb.)	Jugo	Ale	75:25 % (mosto/persimón)	Previo a fermentación	N. d.	3.64 ± 0.11	433.32 ± 34.30	N. d.	N. d.	2.17	N. d.	Martínez, Vegara, Martí, <i>et al.</i> , 2017
		Ale	50:50 % (mosto/persimón)		4.58 ± 0.08	4.72 ± 0.15	308.85 ± 33.40			3.10		
		Ale	25:75 % (mosto/persimón)		5.73 ± 0.14	5.63 ± 0.16	290.34 ± 9.63			6.30		
Cereza (<i>Prunus avium</i> L., <i>Griotta</i>)	N. d.	Ale	300 g/L cerveza	Previo a primera fermentación	3.71	6.0	767 ± 13	N. d.	N. d.	3.53 ± 0.06	9.76 ± 0.11	Nardini y Garaguso, 2020
Cereza (<i>Prunus Avium</i> L., <i>Corniolo</i> , <i>Ravenna</i> y <i>Graffione</i>)	N. d.	Ale	200 g/L cerveza		3.86	5.8	747 ± 8	N. d.	N. d.	3.41 ± 0.10	8.55 ± 0.04	

Tabla I. Cervezas con la adición de diferentes frutos e ingredientes no tradicionales, sus compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, pH y alcohol, de acuerdo con la etapa del proceso de adición y cantidad de ingrediente (continuación)

Fruto	Versión del fruto	Tipo de cerveza	Cantidad de fruto	Etapa de proceso de adición de fruto	pH	Alcohol (% vol.)	TPC (mg GAE/L)	Actividad antioxidante				Referencia
								ORAC (mmol/L TE)	TEAC (mmol/L TE)	ABTS (mmol/L TE)	FRAP (mmol/L TE)	
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.)	N. d.	Lambic	300 g/L cerveza	Previo a primera fermentación	3.76	5.0	465 ± 6	N. d.	N. d.	2.35 ± 0.04	5.71 ± 0.09	Nardini y Garaguso, 2020
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.)	N. d.	Ale	100 g/L cerveza		3.64	5.8	536 ± 7	N. d.	N. d.	1.98 ± 0.01	4.87 ± 0.11	
Durazno (<i>Prunus persica</i> L., Volpedo)	N. d.	Ale	200 g/L cerveza		4.02	8.0	510 ± 5	N. d.	N. d.	1.86 ± 0.03	4.56 ± 0.06	
Chabacano (<i>Prunus armeniaca</i> L., Costigliole Saluzzo)	N. d.	Ale	200 g/L cerveza		3.60	7.0	454 ± 12	N. d.	N. d.	1.66 ± 0.04	4.20 ± 0.05	
Uva (<i>Vitis vinifera</i> L., Croatina)	N. d.	Ale	200 g/L cerveza		4.02	8.0	631 ± 10	N. d.	N. d.	2.81 ± 0.01	6.85 ± 0.18	
Ciruela (<i>Prunus domestica</i> L., Ramassin)	N. d.	Ale	200 g/L cerveza		3.56	7.0	598 ± 7	N. d.	N. d.	1.93 ± 0.02	5.66 ± 0.02	
Naranja (<i>Citrus sinensis</i> L., Sorrento)	Cáscara	Ale	5 g/L cerveza		4.86	6.0	639 ± 4	N. d.	N. d.	2.67 ± 0.09	5.65 ± 0.04	
Manzana (<i>Malus domestica</i> L., Casolana)	N. d.	Ale	20 g/L cerveza		4.42	5.2	399 ± 11	N. d.	N. d.	1.62 ± 0.02	3.08 ± 0.07	
Plátano (<i>M. cavendishii</i>)	Jugo con tratamiento enzimático	N. d.	Mosto con adjunto de plátano (12 °P)	Macerado	5	5.30	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	Carvalho et al., 2009
			Mosto con adjunto de plátano (15 °P)		5	6.39						

Tabla I. Cervezas con la adición de diferentes frutos e ingredientes no tradicionales, sus compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, pH y alcohol, de acuerdo con la etapa del proceso de adición y cantidad de ingrediente (continuación)

Fruto	Versión del fruto	Tipo de cerveza	Cantidad de fruto	Etapa de proceso de adición de fruto	pH	Alcohol (% vol.)	TPC (mg GAE/L)	Actividad antioxidante				Referencia
								ORAC (mmol/L TE)	TEAC (mmol/L TE)	ABTS (mmol /L TE)	FRAP (mmol /L TE)	
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Jugo	N. d.	20 % (v/v)	Previo a segunda fermentación	3.77 ± 0.02	4.13 ± 0.02	267.6 ± 6.9	N. d.	N. d.	1.74 ± 0.21	1.69 ± 0.14	Gasiński, Kawa-Rygielska, Szumny, Czubaszek, et al., 2020
	Pulpa				3.67 ± 0.02	4.27 ± 0.01	218.6 ± 4.8			1.25 ± 0.12	1.32 ± 0.06	
	Cubos frescos				3.60 ± 0.01	4.63 ± 0.02	233.1 ± 6.1			1.27 ± 0.15	1.48 ± 0.07	
	Homogeneizado fresco				3.58 ± 0.02	4.62 ± 0.02	243.2 ± 6.8			1.46 ± 0.08	1.56 ± 0.05	
	Homogeneizado con tratamiento térmico				3.62 ± 0.01	4.49 ± 0.03	232.2 ± 2.9			1.32 ± 0.13	1.47 ± 0.07	
Omija (<i>Schisandra chinensis</i>)	Deshidratada molida	Ale	2 g/L mosto	Previo a ebullición del mosto	4.05 ± 0.03	5.20 ± 0.10	606.82 ± 16.64	N. d.	N. d.	N. d.	3.01 ± 0.05	Deng et al., 2020
				Previo a primera fermentación	4.22 ± 0.03	5.10 ± 0.10	575.00 ± 12.45				2.40 ± 0.15	
				Posterior a segunda fermentación	4.36 ± 0.02	5.10	568.73 ± 13.57				1.86 ± 0.08	
Espino punteado (<i>Crataegus punctata</i>)	Jugo	N. d.	10 % (v/v)	Previo a segunda fermentación	3.5 ± 0.02	3.5	410.1 ± 11.8	N. d.	N. d.	2.041 ± 0.12	1.35 ± 0.02	Gasiński, Kawa-Rygielska, Szumny, Gąsior et al., 2020
	Fruta				3.7 ± 0.01	3.72	279.6 ± 2			1.356 ± 0.11	0.869 ± 0.01	
Cereza cornalina (<i>Cornus mas L.</i>)	Jugo de fruta amarilla 16 % (v/v) de extracto	N. d.	10 % mosto	Previo a primera fermentación	N. d.	5.05 ± 0.01	N. d.	N. d.	N. d.	5.08 ± 0.01	1.58 ± 0.29	Kawa-Rygielska et al., 2019
	Jugo de fruta coral 15 % (v/v) de extracto	N. d.			N. d.	4.89 ± 0.02				4.79 ± 0.03	1.13 ± 0.03	
	Jugo de fruta roja 18 % (v/v) de extracto	N. d.			N. d.	5.09 ± 0.01				5.23 ± 0.08	1.78 ± 0.03	

Tabla I. Cervezas con la adición de diferentes frutos e ingredientes no tradicionales, sus compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, pH y alcohol, de acuerdo con la etapa del proceso de adición y cantidad de ingrediente (continuación)

Fruto	Versión del fruto	Tipo de cerveza	Cantidad de fruto	Etapa de proceso de adición de fruto	pH	Alcohol (% vol.)	TPC (mg GAE/L)	Actividad antioxidante				Referencia		
								ORAC (mmol/L TE)	TEAC (mmol/L TE)	ABTS (mmol/L TE)	FRAP (mmol/L TE)			
Cereza cornalina (<i>Cornus mas L.</i>)	Jugo de fruta amarilla 16 % (v/v) de extracto	N. d.	10 % mosto	Previo a segunda fermentación	N. d.	5.04 ± 0.01	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	5.67 ± 0.04	2.27 ± 0.02	Kawa-Rygielska et al., 2019	
	Jugo de fruta coral 15 % (v/v) de extracto	N. d.			N. d.	5.08 ± 0.04					4.77 ± 0.06	1.95 ± 0.07		
	Jugo de fruta roja 18 % (v/v) de extracto	N. d.			N. d.	5.05 ± 0.02					6.51 ± 0.81	2.6 ± 0.02		
Tola (<i>Parastrephia lucida</i>)	Hoja deshidratada	Porter	5 % (p/v)	Previo a segunda fermentación	N. d.	5.3	800.64 ± 4	N. d.	N. d.	N. d.	30.58 ± 1.2	3.34 ± 0.11	5.46 ± 0.04	Bustos et al., 2019
			1 % (p/v)			5.2	559.52 ± 3				13.46 ± 0.76	1.76 ± 0.10	2.49 ± 0.08	
			0.5 % (p/v)			5.2	496.83 ± 4.49				10.60 ± 1.2	1.53 ± 0.09	2.38 ± 0.04	
			0.1 % (p/v)			5.3	480.16 ± 1.12				10.14 ± 0.76	1.38 ± 0.03	2.17 ± 0.08	
Membrillo (<i>Cydonia oblonga Miller</i>)	Pulpa variedad Vranja	Ale	10 % (p/v)	Previo a primera fermentación	4.33	5.62	15.90 ± 1.15*	N. d.	N. d.	N. d.	79.3	N. d.	N. d.	Zapata et al., 2019
	Pulpa variedad PUM				4.28	5.52	16.74 ± 1.12*				114.6			
	Pulpa variedad ZM9				4.33	5.51	17.55 ± 1.18*				127.5			
Berenjena (<i>Solanum melongena L.</i>)	Extracto en polvo de cáscara	Lager	1 mg/ml cerveza	Posterior a segunda fermentación	4.78 ± 0.04	6.50 ± 0.82	439 ± 13	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	93 ± 1	N. d. N. d.	Horincar et al., 2020
			5 mg/ml cerveza			6.52 ± 0.95	544 ± 7					129 ± 4		
			10 mg/ml cerveza			6.54 ± 0.23	631 ± 3					140 ± 5		
Uva lambrusco ²	Mosto de fruta	Ale	5 %	Previo a primera fermentación	3.74	5.04	291	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	Castro-Marin et al., 2021	
			10 %		3.67	5.37	304							
			20 %		3.59	6.12	338							

Tabla I. Cervezas con la adición de diferentes frutos e ingredientes no tradicionales, sus compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, pH y alcohol, de acuerdo con la etapa del proceso de adición y cantidad de ingrediente (continuación)

Fruto	Versión del fruto	Tipo de cerveza	Cantidad de fruto	Etapa de proceso de adición de fruto	pH	Alcohol (% vol.)	TPC (mg GAE/L)	Actividad antioxidante				Referencia
								ORAC (mmol/L TE)	TEAC (mmol/L TE)	ABTS (mmol /L TE)	FRAP (mmol /L TE)	
Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i> L.)	Extracto, polvo infundido en forma de extracto alcohólico	Ale	1.0 g/L cerveza	Segunda fermentación	4.34 ± 0.20	5.03 ± 0.21	284.52	N. d.	N. d.	N. d.	337.67	Nunes-Filho et al., 2021
Pimienta negra (<i>Piper Nigrum</i> L.)			1.5 g/L cerveza		4.37 ± 0.01	5.00 ± 0.14	272.74				316.68	
Maíz (<i>Zea mays</i> L.) y Chile guajillo (<i>Capsicum annuum</i>)	Grano de maíz azul malteado	Ale	1:1 (maíz malteado/ malta de cebada) Chile guajillo N. d.	Macerado	N. d.	5.45	849.5	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	Romero-Medina et al., 2020
	Grano de maíz rojo malteado				N. d.	7.21	721					
Propóleo ³	Extracto	N. d.	0.05 g/L cerveza	Posterior a segunda fermentación	4.06 ± 0.05	5.18 ± 0.16	253.0 ± 19.8	N. d.	N. d.	0.705 ± 0.123	1555 ± 175.4	Ulloa et al., 2017
			0.15 g/L cerveza		4.02 ± 0.07	5.15 ± 0.17	282.5 ± 28.9			0.687 ± 0.094	1705.0 ± 13.5	
			0.25 g/L cerveza		4.05 ± 0.06	5.18 ± 0.16	306.5 ± 45.9			0.808 ± 0.197	1892 ± 251.0	
Papa morada (<i>Ipomoea batatas</i> L.)	Deshidratada en hojuelas	N. d.	30 % en relación con malta	Macerado	3.05 ± 0.05	3.77 ± 0.06	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	N. d.	Panda et al., 2015
			50 % en relación con malta		3.40 ± 0.02	3.37 ± 0.06						

*TPC (mg pirogalol/100 g). ¹Nombre científico no mencionado por autores. Podría ser la especie *Lycium barbarum* o *Lycium chinense*. ²Nombre científico no mencionado por autores. Podría ser la especie *Vitis labrusca*. ³Nombre científico no mencionado por autores. TPC = Contenido total de polifenoles, GAE = Equivalentes de ácido gálico, ORAC = Método que mide actividad antioxidante con la capacidad de absorción de radicales de oxígeno, TEAC = Método que mide capacidad antioxidante equivalente al Trolox, ABTS = Método que mide capacidad antioxidante cuantificando la decoloración del radical ABTS⁺ (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) debido a su reducción ABTS, FRAP = Método que mide capacidad antioxidante fundamentado en la reducción del hierro férrico (Fe³⁺) en el reactivo de FRAP hasta la forma ferrosa (Fe²⁺) por presencia de antioxidantes, N. d. =No determinado por autores.

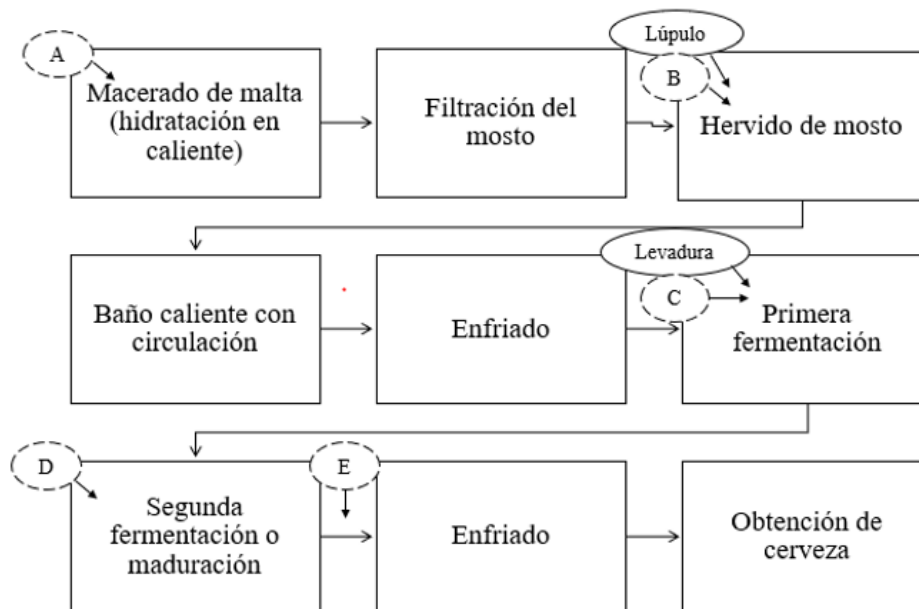


Figura 3.

Proceso general de elaboración de cerveza frutal, en donde: A representa la adición del fruto en la etapa de macerado de la malta; B, la adición del fruto previo al hervido del mosto; C, la adición del fruto previo a la primera fermentación; D, la adición del fruto previo a la segunda fermentación; y E, la adición del fruto posterior a la segunda fermentación.

3.3. Propiedades sensoriales

Debido a la amplia variedad de cervezas que existen, su percepción sensorial se vuelve muy amplia y compleja, y se pueden dividir en sensaciones ópticas, olfativas y gustativas (Schmelzle, 2009). Además, en la elaboración de cerveza existen múltiples variables en el procesamiento que pueden influir en la percepción de sabor, aroma, apariencia, sensación en la boca y carácter general de la cerveza (Papazian, 2006).

3.3.1. Color

En la cerveza convencional el color es una característica que transmite mensajes importantes al consumidor, principalmente cuando se presenta en botella o se sirve en vaso; el color oscuro se asocia con un sabor más fuerte, mayor contenido de alcohol y mayor pesadez, mientras que el color claro transmite lo contrario

(Schmelzle, 2009). De igual forma, el color surge a partir de la selección de materias primas presentes en el proceso de la molienda de la malta y puede aumentar o disminuir en la etapa de ebullición del mosto. Sin embargo, el color se puede ajustar con la adición de caramelos o extractos de malta, generalmente después de la fermentación. Además, el color se aporta gracias a la reacción de Maillard, la cual es impulsada por el calor entre los azúcares y los aminoácidos, aportando incluso sabor (Holbrook, 2020; Schmelzle, 2009).

En un estudio se analizaron cervezas frutales en donde su color se vio afectado por la presencia de frutas, tipo de malta y concentración de lúpulo; así como el proceso de elaboración y momento de adición del fruto en el proceso; se demostró que a mayor cantidad de fruta añadida se pueden obtener cervezas más ligeras y que la etapa de adición llega a influir en el color.

Las frutas añadidas a estas cervezas fueron cerezas, frutos rojos, frambuesa, durazno, manzana, cítricos, mango, sauco, piña, fresa y zarzamora; los colores tornaron desde amarillentos en la cerveza añadida con durazno hasta café muy oscuros en la cerveza adicionada con cereza; y se encontraron antocianinas monoméricas y betacarotenos como pigmentos en estas cervezas frutales (Baigts-Allende *et al.*, 2021).

De igual manera, Martínez, Vegara, Herranz-López *et al.* (2017) estudiaron el comportamiento del color al agregar extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) al proceso de elaboración de cerveza, y en las pruebas con mayor contenido de extracto (10 y 20 g/L), la evolución de la pérdida de color rojo fue significativamente diferente debido al envejecimiento forzado, en donde hubo pérdida de antocianinas, y en el caso de la menor cantidad de extracto añadida (5 g/L) ocurrió pérdida de color en menor intensidad debido a que los complejos antocianinos se presentaron en menor ímpetu. En el caso de cerveza preparada con persimón a diferentes concentraciones de jugo (75:25, 50:50, 25:75 mosto-persimón), la bebida con más contenido de jugo reflejó mayor saturación de color debido a la abundancia de carotenoides (Martínez, Vegara, Martí, *et al.*, 2017). Ello demostró que, a mayor cantidad de fruto añadido, existe alta variabilidad en el color de la cerveza final y además durante la vida de anaquel se debe tener cuidado, pues el envejecimiento natural de la cerveza puede cambiar la coloración del producto.

Por otra parte, en el análisis realizado a cerveza con omija (*Schisandra chinensis*) se evaluaron características de la bebida en distintas etapas de adición del fruto, dando como resultado una cerveza más oscura con un color rojo más intenso que se adjudica a la formación de productos coloreados de la reacción de Maillard y al incremento de extracción de compuestos de color por la alta temperatura, en la etapa previa a la ebullición del mosto (Deng *et al.*, 2020).

En la elaboración de cervezas con ingredientes no tradicionales como pimienta negra (*Piper Nigrum* L.), cúrcuma (*Curcuma longa* L.), tola (*Parastrephia lucida*) y extracto de propóleo en donde la cantidad del ingrediente añadido es mínimo, el color se puede ver ligeramente afectado, pero sin encontrar diferencia significativa contra las cervezas control elaboradas en cada uno de los estudios. De forma contraria sucede en la cerveza elaborada con la adición de extracto de cáscara de berenjena; en la cual

la cantidad añadida fue mínima, pero naturalmente el fruto contiene compuestos antocianinos que dieron color rojizo a la bebida (Bustos *et al.*, 2019; Horincar *et al.*, 2020; Nunes Filho *et al.*, 2021; Ulloa *et al.*, 2017). De aquí que comprobar la naturaleza de los ingredientes es de alta importancia para predecir los compuestos de la bebida final.

3.3.2. Sabor, aroma y compuestos volátiles

La percepción del sabor es una relación conjunta entre el gusto y el aroma, que puede modificarse por la sensación simultánea de estímulos gustativos. En bebidas alcohólicas como cerveza, vino y whisky han sido identificados más de 1,300 compuestos volátiles, así que el sabor de la cerveza es complejo y dinámico, dependiente de diversos factores que pueden promover cambios sensoriales (Ryder y Power, 2006).

En estudios realizados a cervezas con adición de frutas y otros ingredientes no tradicionales se encontraron componentes volátiles, como ésteres, alcoholes, monoterpenos, hidrocarburos, acetales, aldehídos, fenilpropanoides, sesquiterpenos, ácidos y cetonas.

Los ésteres representan al grupo más grande e importante de las sustancias activas del sabor y aroma producidas por levaduras, siendo los responsables del carácter afrutado/floral de la cerveza. Los ésteres se forman intracelularmente por una reacción de condensación catalizada por enzimas entre dos sustratos: un alcohol superior y una molécula acil-coenzima A activada; entonces, la elección de la levadura es importante, ya que determinadas cepas pueden producir características sensoriales diferentes en la bebida final (Papazian, 2006; Russell, 2006).

En la cerveza con mango añadido (*Mangifera indica*) se detectaron veintiocho compuestos de ésteres, doce compuestos de alcoholes, diez compuestos de monoterpenos, cinco compuestos de hidrocarburos, tres compuestos de acetales, tres compuestos de fenilpropanoides, dos compuestos de sesquiterpenos, dos compuestos de aldehídos, un compuesto de ácido y un compuesto de cetona. Además, la cerveza preparada con pulpa de mango obtuvo la mayor concentración de componentes volátiles y se detectó el terpinoleno, el compuesto en mayor cantidad en la bebida, que es caracterizado por un aroma cítrico dulce, lo cual demuestra que la adición de fruta, en este caso el mango, provoca cambios en los compuestos aromáticos de la bebida final pre-

parada, comparada contra una bebida control sin fruta añadida (Gasiński, Kawa-Rygielska, Szumny, Czubaszek, *et al.*, 2020).

En el caso de cerveza preparada con la adición de omija (*Schisandra chinensis*) previo a la ebullición del mosto, el contenido de diacetilo y acetaldehído aumentó ligeramente, mientras que los contenidos de alcoholes superiores se vieron poco afectados y los ésteres mostraron una disminución, en comparación con la cerveza control en el estudio de Deng *et al.* (2020). Dicho resultado es contrario a lo mencionado por Priest y Stewart (2006), quienes dicen que la fruta no debe hervirse, sino que se puede adicionar al mosto caliente una vez apagado el proceso de calentamiento o en el baño caliente con circulación; ya que, si se agrega al mosto caliente, gran parte del aroma proveniente de la fruta se puede perder debido a la volatilización o a la evolución del dióxido de carbono durante la fermentación.

Por otro lado, la adición de frutas o jugo de espino (*Crataegus punctata*) a la cerveza genera diferentes compuestos (éster hexílico de ácido acético; éster 2-metil, 2-metilbutílico de ácido propanoico, limoneno, 5-metilhexanoato de etilo; éster metílico de ácido octanoico, hexanoato de isopentilo) respecto con la cerveza control, incluso hubo aumento de casi todos los compuestos volátiles de la cerveza (Gasiński, Kawa-Rygielska, Szumny, Gąsior, *et al.*, 2020).

En el estudio de Daenen *et al.* (2008) se evaluó y comparó la actividad de hidrolasa de glucósido de las levaduras *Brettanomyces custersii* LD72 con las de *S. cerevisiae* (LD25 y LD40) en glucósidos de cereza agria para su uso en la producción de cerveza; en donde la levadura *B. custersii* LD72 obtuvo un aumento de compuestos volátiles, liberando aromas de cereza agria, como benzaldehído, linalol y eugenol; además, se demostró una mayor formación de compuestos en fruta añadida de forma entera.

En el caso de cerveza con membrillo, de igual manera, se obtuvo mayor intensidad de atributos sensoriales florales, afrutados y menor intensidad de notas de caramelo, en comparación con la cerveza control; esto evidenció que la adición del fruto obtuvo efectos positivos en el sabor floral y afrutado de la cerveza (Zapata *et al.*, 2019).

También es importante tomar en cuenta las cantidades relativas de los diferentes azúcares asimilables en el mosto, pues tienen una influencia significativa en el perfil de sabor. Por ejemplo, el mosto con mayor contenido de glucosa y fructosa produce

mayor cantidad de ésteres que el mosto con un alto contenido de maltosa; como sucedió en el caso de la adición de plátano en la elaboración de cerveza desde la fase de maceración (Carvalho *et al.*, 2009). Igualmente sucede con el porcentaje de alcohol, se puede observar en la tabla I que los mayores porcentajes de alcohol se obtuvieron con la adición de más cantidad de fruta, como sucedió con la cerveza preparada con baya de goji, previo a la primera fermentación (Ducruet *et al.*, 2017), plátano en la maceración (Carvalho *et al.*, 2009), uva lambrusco previo a la primera fermentación (Castro Marin *et al.*, 2021), grano de maíz rojo malteado en la maceración (Romero-Medina *et al.*, 2020) y persimón previo a la primera fermentación (Martínez, Vegara, Martí *et al.*, 2017), dado que estos ingredientes son ricos en azúcares y el contenido de alcohol depende del azúcar reductor inicial y concentración en las formulaciones.

De forma general, el uso de ingredientes alternos a los tradicionales en la elaboración de cerveza, tanto de frutas como de especias, plantas, flores y propóleo, pueden cambiar el aroma y sabor de la bebida final, de acuerdo con el momento de adición durante proceso, cantidad y versión del fruto.

La fruta, el lúpulo y las especias son ingredientes que pueden aportar compuestos aromáticos únicos e interesantes a la bebida final; no obstante, dichos aditivos conllevan una serie de desafíos y consideraciones, como la variedad de ácidos orgánicos que agregan una amplia gama de complejidad y características complementarias a otros ingredientes o perfiles de levaduras usadas. Así, comprender la calidad de los adjuntos que se añaden al proceso de elaboración de la cerveza y su impacto en otros parámetros clave como la calidad del mosto, azúcares, pH, compuestos bioactivos y aspectos sensoriales es igual de importante que seleccionar una cepa de levadura que fermenta de forma confiable el mosto (Holbrook, 2020).

3.4. Propiedades antioxidantes

La adición de diferentes plantas, frutas y otros ingredientes no tradicionales en el mosto o en la cerveza se practica desde hace muchos años, y representa un tesoro de componentes bioactivos que se convierten en materias primas muy valiosas. Las frutas llegan a incorporar antioxidantes como carotenoides, tocoferoles y ácido ascórbico, que pueden ser responsables de la actividad antioxidante de la cerveza (Salanță *et al.*, 2020).

Se ha demostrado que la adición de frutas frescas a la cerveza en el proceso de fermentación podría duplicar su actividad antioxidante, provocando un aumento significativo de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y flavonoides. Por ejemplo, en una cerveza convencional se pueden obtener un total de polifenoles de entre 321.0-446.0 mg de equivalentes de ácido gálico/L, mientras en una cerveza añadida con fruta entre 399.0-767.0 mg de equivalentes de ácido gálico/L, impactando en la actividad antioxidante (Nardini y Garaguso, 2020).

Incluso, en otros estudios, se demostró un contenido total de polifenoles de 800.6 mg de equivalentes de ácido gálico/L en la elaboración de una cerveza de estilo *porter* con la adición de hoja deshidratada al 5 % (p/v) de tola (*Parastrephia lucida*), añadida en la etapa posterior a la segunda fermentación, y 849.5 mg de equivalentes de ácido gálico/L en la elaboración de una cerveza estilo *ale* con la adición de maíz azul (*Zea mays L.*) malteado y chile guajillo (*Capsicum annuum*) en la etapa de macerado (Bustos *et al.*, 2019; Romero-Medina *et al.*, 2020). Naturalmente la planta de tola (*Parastrephia lucida*) es rica en antioxidantes (TPC, 185.1 mg GAE/g) (Bustos *et al.*, 2019) y el maíz azul y rojo tienen la presencia de compuestos fenólicos como cianidina-3-glucósido y pelargonidina-3-glucósido, respectivamente (Romero-Medina *et al.*, 2020). En el caso de la cerveza preparada con la adición de maíz azul y rojo, no se llevó a cabo la determinación de actividad antioxidante, lo cual sería interesante conocer debido a que es la cerveza con mayor contenido de polifenoles totales, y así se podría comparar contra la adicionada con tola (*Parastrephia lucida*), que es la segunda bebida con mayor contenido de polifenoles totales.

La adición de extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*) a la cerveza en diferentes cantidades, en la etapa posterior a la segunda fermentación, incrementó de forma importante los fenoles y antocianinas, que son los compuestos con actividad antioxidante; principalmente, en la cerveza con la adición de 20 g/L de extracto. En este estudio se obtuvo un rango de 6.0-

9.3 mmol/L TE como valores de las actividades de captación de cationes radicales ABTS de las cervezas estudiadas, demostrando tener mayor actividad antioxidante que la cerveza sin la adición de extracto preparado bajo las mismas condiciones (Martínez, Vegara, Herranz-López, *et al.*, 2017).

Otro ejemplo de la adición de ingredientes no tradicionales a la cerveza en diferentes cantidades es el jugo de persimón (75:25, 50:50, 25:75 mosto-persimón), en donde se obtuvieron 433.3±34.3, 308.9±33.4 y 290.3±9.6 mg GAE/L, respectivamente. Se observó que, en este caso, la contribución del total de polifenoles no es representativa de acuerdo con la cantidad de jugo añadida, ya que el jugo de persimón no es una fuente rica de polifenoles (Martínez, Vegara, Martí *et al.*, 2017).

Respecto a las cervezas preparadas con la adición de frutas en diferentes partes del proceso, se encuentran la baya de goji y omija (*Schisandra chinensis*), ambas de forma deshidratada; en estos casos la mayor obtención del contenido total de polifenoles y actividad antioxidante se realizó cuando fueron añadidas previo a la ebullición del mosto (Deng *et al.*, 2020; Ducruet *et al.*, 2017).

De esta manera, se puede asumir que el contenido total de polifenoles y la actividad antioxidante de las cervezas con sus aditivos depende de la calidad y cantidad de los ingredientes, así como de las condiciones del proceso de elaboración (tabla I).

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Se recabó información relacionada con el proceso de elaboración, propiedades antioxidantes y características de cervezas adicionadas con frutas y otros ingredientes no tradicionales. En cuanto al proceso de elaboración de la cerveza, las investigaciones muestran que el momento de adición, tipo de presentación y variedad de fruto o ingrediente influyen en el contenido total de polifeno-

les y actividad antioxidante de las cervezas. Por otro lado, el pH y el grado alcohólico dependen directamente de las características intrínsecas del tipo de ingrediente adicionado; mientras que el pH es influenciado por la cantidad de ingrediente añadido, y el porcentaje de etanol es influenciado por el contenido de azúcares de la bebida previo a la fermentación.

Con respecto a las características sensoriales, se encontró que el sabor y aroma son consecuencia de la presencia de diferentes combinaciones de componentes volátiles, como ésteres, alcoholes, monoterpenos, hidrocarburos, acetales, aldehídos, fenilpropanoides, sesquiterpenos, ácidos y cetonas. Además, para el color es importante conocer los pigmentos de los ingredientes añadidos que darán lugar a la coloración de la bebida final.

En las investigaciones recopiladas se reportó que las cervezas adicionadas con frutas y otros ingredientes no tradicionales demostraron una mayor actividad antioxidante que las cervezas convencionales. Sin embargo, como perspectivas de estudio, es importante continuar con investigaciones que lleven a cabo ensayos clínicos *in-situ* o *in-vivo* y así evaluar el efecto antioxidante en las células. Por otro lado, la mayoría de los estudios se han realizado alrededor de cervezas elaboradas en laboratorio, por lo tanto, comprobar los efectos de la adición de los distintos ingredientes en cada una de las etapas de elaboración a nivel piloto o industrial mostraría el impacto en los componentes bioactivos de la bebida final.

AGRADECIMIENTOS

Fernanda Rodríguez Aguilar agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) —hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)— y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por el financiamiento otorgado para sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Ambra, R., Pastore, G. y Lucchetti, S. (2021). The role of bioactive phenolic compounds on the impact of beer on health. *Molecules*, 26(2), 486. <https://doi.org/10.3390/molecules26020486>
- Baigts-Allende, D. K., Pérez-Alva, A., Ramírez-Rodrigues, M. A., Palacios, A. y Ramírez-Rodrigues, M. M. (2021). A comparative study of polyphenolic and amino acid profiles of commercial fruit beers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103921>
- Bamforth, C. W. y Cook, D. J. (2019). *Food, Fermentation, and Micro-organisms* (2a edición). Blackwell.
- Barth, R. (2013). The chemistry of beer. In *ACS Symposium Series* (1130). <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1130.ch004>
- Bustos, L., Soto, E., Parra, F., Echiburú-Chau, C. y Parra, C. (2019). Brewing of a Porter Craft Beer Enriched with the Plant *Parastrephia lucida*: A Promising Source of Antioxidant Compounds. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77(4), 26-266. <https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1644478>
- Carvalho, D. O. y Guido, L. F. (2022). A review on the fate of phenolic compounds during malting and brewing: Technological strategies and beer styles. *Food Chemistry*, 372, 131093. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131093>
- Carvalho, G. B. M., Silva, D. P., Bento, C. V., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Felipe, M. D. G. A. y Almeida e Silva, J. B. (2009). Banana as Adjunct in Beer Production: Applicability and Performance of Fermentative Parameters. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 155(1-3), 53-62. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8458-y>
- Castro-Marin, A., Baris, F., Romanini, E., Lambri, M., Montevecchi, G. y Chinnici, F. (2021). Physico-chemical and sensory characterization of a fruit beer obtained with the addition of Cv. Lambrusco grapes must. *Beverages*, 7(2), 1-18. <https://doi.org/10.3390/beverages7020034>
- Daenen, L., Sterckx, F., Delvaux, F. R., Verachtert, H. y Derdelinckx, G. (2008). Evaluation of the glycoside hydrolase activity of a *Brettanomyces* strain on glycosides from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) used in the production of special fruit beers. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1103-1114. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00421.x>

- DeKeersmaecker, J. (1996). The mystery of lambic beer. *Scientific American*, 275, 74-80.
- Deng, Y., Lim, J., Nguyen, T. T. H., Mok, I. K., Piao, M., y Kim, D. (2020). Composition and biochemical properties of ale beer enriched with lignans from *Schisandra chinensis* Baillon (omija) fruits. *Food Science and Biotechnology*, 29(5), 609-617. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00714-5>
- Ducruet, J., Rébenaque, P., Diserens, S., Kosińska-Cagnazzo, A., Héritier, I. y Andlauer, W. (2017). Amber ale beer enriched with goji berries - The effect on bioactive compound content and sensorial properties. *Food Chemistry*, 226, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.047>
- Eaton, B. (2006). An Overview of brewing. In F. Priest & G. Stewart (Eds.), *Handbook of Brewing* (2a edición, pp. 77-89). Taylor & Francis Group.
- Emerald, M., Rajauria, G. y Kumar, V. (2016). Novel Food Fermented Grain-Based Products. En K. S. Ojha y B. K. Tiwari (Eds.), *Novel Food Fermentation Technologies* (pp. 263-277). Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42457-6_1
- Gasiński, A., Kawa-Rygielska, J., Szumny, A., Czubaszek, A., Gąsior, J. y Pietrzak, W. (2020). Volatile Compounds Content, Physicochemical Parameters, and Antioxidant Activity of Beers with Addition of Mango Fruit (*Mangifera Indica*). *Molecules*, 25(13), 3033. <https://doi.org/10.3390/molecules25133033>
- Gasiński, A., Kawa-Rygielska, J., Szumny, A., Gąsior, J. y Głowacki, A. (2020). Assessment of Volatiles and Polyphenol Content, Physicochemical Parameters and Antioxidant Activity in Beers with Dotted Hawthorn (*Crataegus punctata*). *Foods*, 9(6), 775. <https://doi.org/10.3390/foods9060775>
- Giacosa, A., Barale, R., Bavaresco, L., Faliva, M. A., Gerbi, V., La Vecchia, C., Negri, E., Opizzi, A., Perna, S., Pezzotti, M. y Rondanelli, M. (2016). Mediterranean Way of Drinking and Longevity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(4), 635-640. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.747484>
- Holbrook, C. J. (2020). Brewery operations. In Elsevier (Ed.), *The Craft Brewing Handbook* (pp. 66-109). <https://doi.org/10.1016/c2016-0-03424-1>
- Horincar, G., Enachi, E., Bolea, C., Răpeanu, G. y Aprodu, I. (2020). Value-added lager beer enriched with eggplant (*Solanum melongena* L.) peel extract. *Molecules*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/molecules25030731>
- Kawa-Rygielska, J., Adamenko, K., Kucharska, A. Z., Prorok, P. y Piórecki, N. (2019). Physicochemical and antioxidative properties of Cornelian cherry beer. *Food Chemistry*, 281, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.093>
- Martínez, A., Vegara, S., Herranz-López, M., Martí, N., Valero, M., Micol, V. y Saura, D. (2017). Kinetic changes of polyphenols, anthocyanins and antioxidant capacity in forced aged hibiscus ale beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(1), 58-65. <https://doi.org/10.1002/jib.387>
- Martínez, A., Vegara, S., Martí, N., Valero, M. y Saura, D. (2017). Physicochemical characterization of special persimmon fruit beers using bohemian pilsner malt as a base. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(3), 319-327. <https://doi.org/10.1002/jib.434>
- Munroe, J. H. (2006). Aging and finishing. En F. G. Priest y G. G. Stewart (Eds.), *Handbook of Brewing* (2a edición, pp. 526-548). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420015171>
- Nardini, M. y Garaguso, I. (2020). Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chemistry*, 305, 125437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>
- Nunes Filho, R. C., Galvan, D., Effting, L., Terhaag, M. M., Yamashita, F., Benassi, M. de T. y Spinosa, W. A. (2021). Effects of adding spices with antioxidants compounds in red ale style craft beer: A simplex-centroid mixture design approach. *Food Chemistry*, 365, 0-1. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130478>
- Panda, S. K., Panda, S. H., Swain, M. R., Ray, R. C. y Kayitesi, E. (2015). Anthocyanin-Rich Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Beer: Technology, Biochemical and Sensory Evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3040-3049. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12569>
- Papazian, C. (2006). Beer Styles: Their origins and classification. En G. G. Stewart y F. G. Priest (Eds.), *Handbook of Brewing* (2a edición, pp. 41-71). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420015171>
- Priest, Fergus G. y Stewart, G. G. (2006). Handbook of brewing. En *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951-952. (2ª edición, Issue 465). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420015171>
- Romero-Medina, A., Estarrón-Espinosa, M., Verde-Calvo, J. R., Lelièvre-Desmas, M. y

- Escalona-Buendía, H. B. (2020). Renewing Traditions: A Sensory and Chemical Characterization of Mexican Pigmented Corn Beers. *Foods*, 9(7), 886. <https://doi.org/10.3390/foods9070886>
- Russell, I. (2006). Yeast. En G. G. Stewart y F. G. Priest (Eds.), *Handbook of Brewing* (pp. 282-324). Taylor & Francis Group. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420015171>
- Ryder, D. S. y Power, J. (2006). Miscellaneous Ingredients in Aid of the Process. En G. G. Stewart y F. G. Priest (Eds.), *Handbook of Brewing* (pp. 334-378). Taylor & Francis Group CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420015171>
- Salanță, L. C., Coldea, T. E., Ignat, M. V., Pop, C. R., Tofană, M., Mudura, E., Borșa, A., Pasqualone, A., Anjos, O. y Zhao, H. (2020). Functionality of special beer processes and potential health benefits. *Processes*, 8(12), 1-21. <https://doi.org/10.3390/pr8121613>
- Santos-Zea, L., Villera-Castrejón, J. y Gutiérrez-Urbe, J. (2019). Bound phenolics in food-Reference series in phytochemistry. En K. G. Ramawat y J. M. Mérillon (Eds.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 973-990). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6>
- Schmelzle, A. (2009) The Beer Aroma Wheel Related Papers. *Brewing Science*, 62, 26-32.
- Ulloa, P. A., Vidal, J., Ávila, M. I., Labbe, M., Cohen, S. y Salazar, F. N. (2017). Effect of the addition of propolis extract on bioactive compounds and antioxidant activity of craft beer. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/6716053>
- Villacreces, S., Blanco, C. A. y Caballero, I. (2022). Developments and characteristics of craft beer production processes. *Food Bioscience*, 45 (December 2021), 101495. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101495>
- Wannenmacher, J., Gastl, M. y Becker, T. (2018). Phenolic Substances in Beer: Structural Diversity, Reactive Potential and Relevance for Brewing Process and Beer Quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 953-988. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12352>
- Zapata, P. J., Martínez-Esplá, A., Gironés-Vilaplana, A., Santos-Lax, D., Nogueira-Artiaga, L. y Carbonell-Barrachina, Á. A. (2019). Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *Lwt*, 103, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>