

# REACCIONES QUÍMICAS EN LA CERVEZA

Chemical reactions in beer

Miguel Morales-Toyo\*

La cerveza es una bebida alcohólica compleja elaborada con cebada (malta), lúpulo, agua y levadura. Químicamente, la cerveza puede considerarse como una solución de agua-etanol con un pH ácido (pH alrededor de 4,2) que contiene cientos de moléculas disueltas. Termodinámicamente, una botella de cerveza es un sistema cerrado que se esforzará por alcanzar un estado de energía mínima y de entropía máxima. En consecuencia, las moléculas pueden experimentar diferentes reacciones y cambiar su composición química durante el almacenamiento. Además, la degradación de las moléculas a concentraciones por debajo del umbral del sabor puede causar la pérdida de los sabores iniciales de la cerveza fresca. En este artículo discutimos las reacciones fundamentales y sus mecanismos en la cerveza desde su elaboración hasta su almacenamiento.

**Palabras claves:** Cerveza; Elaboración de Cerveza; Reacciones; Composición Química.

Beer is a complex alcoholic beverage made from barley (malt), hops, water and yeast. Chemically, beer can be considered as a water-ethanol solution with an acid pH (pH around 4.2) which contains hundreds of dissolved molecules. Thermodynamically, a bottle of beer is a closed system and will thus strive to reach a status of minimal energy and maximal entropy. Consequently, molecules can undergo different reactions and change their chemical composition during storage. Moreover degradation of molecules to concentrations below the flavour threshold may cause loss of initial fresh beer flavours. In this article, we discussed the fundamental reactions in beer and their mechanisms from brewing to storage.

**Keywords:** Beer; Brewing; Chemical Composition; Reactions; Stability.

\*Laboratorio de Control de Envasado, Departamento de Control de Calidad, Cervecería Regional C.A., Av. 17 Los Haticos, No. 112-113 Maracaibo, Estado Zulia – Venezuela.  
Correo electrónico: miguelmorales82@gmail.com

La cerveza, una bebida acuosa fermentada a base de almidón y aromatizada con lúpulo, es una mezcla compleja de más de 450 constituyentes. Esta bebida alcohólica ampliamente consumida y estudiada está elaborada principalmente a base de cuatro sustancias: cebada malteada, levadura, lúpulo y agua. Sin embargo, también se le pueden añadir muchos otros constituyentes durante la elaboración como maltas especiales, carbohidratos y cereales no malteados como maíz, sorgo, centeno, avena, trigo por lo que acaba siendo una mezcla que contiene macromoléculas como proteínas, ácidos nucleídos, polisacáridos y lípidos.<sup>1-3</sup> El lúpulo determina, en gran medida, las cualidades típicas de la cerveza, tales como el sabor amargo y la estabilidad de la espuma.<sup>4</sup>

La elaboración de cerveza ha sido una actividad humana y se remonta al comienzo de la urbanización y civilización en el período neolítico (período que va aproximadamente desde el año 6 hasta el año 3 mil antes de nuestra era). La cerveza es un producto valorado por sus propiedades fisicoquímicas (calidad) tanto como por su vínculo con lo religioso, lo culinario y distinción étnica o tradición. De esta manera, la historia de la elaboración de la cerveza no es solo una historia de avances científicos y tecnológicos, sino también la historia de las personas mismas: su gobierno, su economía, sus ritos y su vida cotidiana, y abarca también los mercados de granos y la alquimia.<sup>5</sup>

Actualmente existen diferentes tipos de cervezas, las que se clasifican en dos grupos principales según el proceso

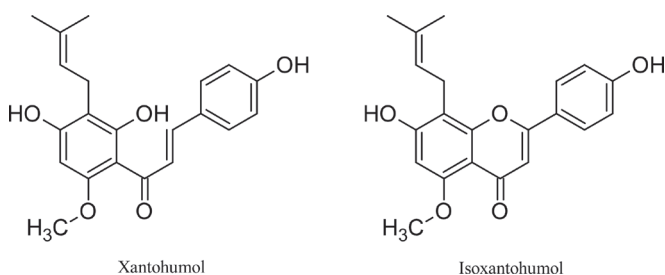
1. Steiner, E.; Becker, T.; Gastl, M. *J. Inst. Brew.*, **2010**, , 116 (4), 360–368.
2. Pothou, E.; Melliou, E.; Skaltsounis, A.-L.; Liouni, M.; Magiatis, P. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2013**, 71 (1), 35–40.
3. Delcour, J. A.; Hennebert, M. M. E.; Vancraenenbroeck, R.; Moerman, E. *J. Inst. Brew.* **1989**, 95 (4), 271–276.
4. De Keukeleire, D. *Quim. Nova* **2000**, 23 (1), 108–112. (□)
5. Meussdoerffer, F. G.: *A Comprehensive History of Beer Brewing*, en Eßlinger, H.M. (ed): *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*, Wiley-VCH, **2009**. (□)

de fermentación por el cual se obtienen: las de fermentación alta (Ales, Stouts y cerveza de trigo) y las de fermentación en el fondo (Lager, Dark Lager, Pilsner, Bocks y Märzen).

## LA IMPORTANCIA DE LA CERVEZA Y SUS REACCIONES

La cerveza se ha convertido en una parte indispensable de la dieta en muchas culturas porque es una fuente importante de compuestos nutricionales como carbohidratos y proteínas y no es solo una fuente de alcohol (etanol, el cual se produce por la fermentación controlada de mosto). En definitiva, es un líquido rico en carbohidratos (como la glucosa), compuestos nitrogenados, compuestos de azufre y oligoelementos extraídos de la cebada malteada.<sup>1,6,7</sup>

La cerveza es una bebida tan interesante que ha sido sometida a diversos estudios de ensayos biológicos como agente quimioterapéutico debido a que su compleja matriz también contiene prenilflavonoides como xantohumol e isoxantohumol derivados del lúpulo (**figura 1**). Este tipo de compuestos ha presentado actividad como inhibidores de la carcinogénesis en las fases de iniciación, promoción y progresión.<sup>8</sup>



**Figura 1.** Estructuras químicas de componentes seleccionados de la cerveza, derivados del lúpulo.<sup>8</sup>

El proceso de la elaboración de la cerveza comienza con la maceración en agua de la cebada, la cual debe haber sido previamente malteada, con la finalidad de las enzimas presentes transformen el almidón en azúcares fermentables; este proceso se lleva a cabo a una temperatura de 60-70°C. Posteriormente, se hierve el líquido para detener la acción enzimática y provocar la precipitación de las proteínas indeseables, las que deben filtrarse. Este líquido filtrado, conocido comúnmente como mosto, se hierve con una cantidad específica de lúpulo (para darle aroma), se filtra, se enfría y se airea para someterlo a un proceso de fermentación en presencia de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Posteriormente, el líquido obtenido se somete a un proceso de maduración para, finalmente, ser envasada como cerveza.<sup>7</sup>

La fermentación es uno de los pasos más importantes pues es entonces cuando los carbohidratos como la glucosa

se convierten en etanol y dióxido de carbono, como puede verse en la ecuación 1:<sup>1-4</sup>



No obstante, esta no es la única reacción que ocurre cuando se produce la cerveza. Los carbohidratos están involucrados en varios procesos y mecanismos como la reacción de Maillard, la degradación de Strecker y algunos procesos oxidativos, los cuales acabarán influyendo en el color, olor y sabor de la cerveza. Las proteínas, por otro lado, influyen en todo el proceso de elaboración de la cerveza, ya que existen enzimas que degradan el almidón,  $\beta$ -glucanos y proteínas. La formación de enlaces proteína-proteína, por ejemplo, estabilizan la espuma y son responsables del sabor de la cerveza y de su estabilidad. Todas estas reacciones dan lugar a sustancias que son las responsables del sabor final y de la estabilidad general de esta bebida.<sup>1,6,7</sup>

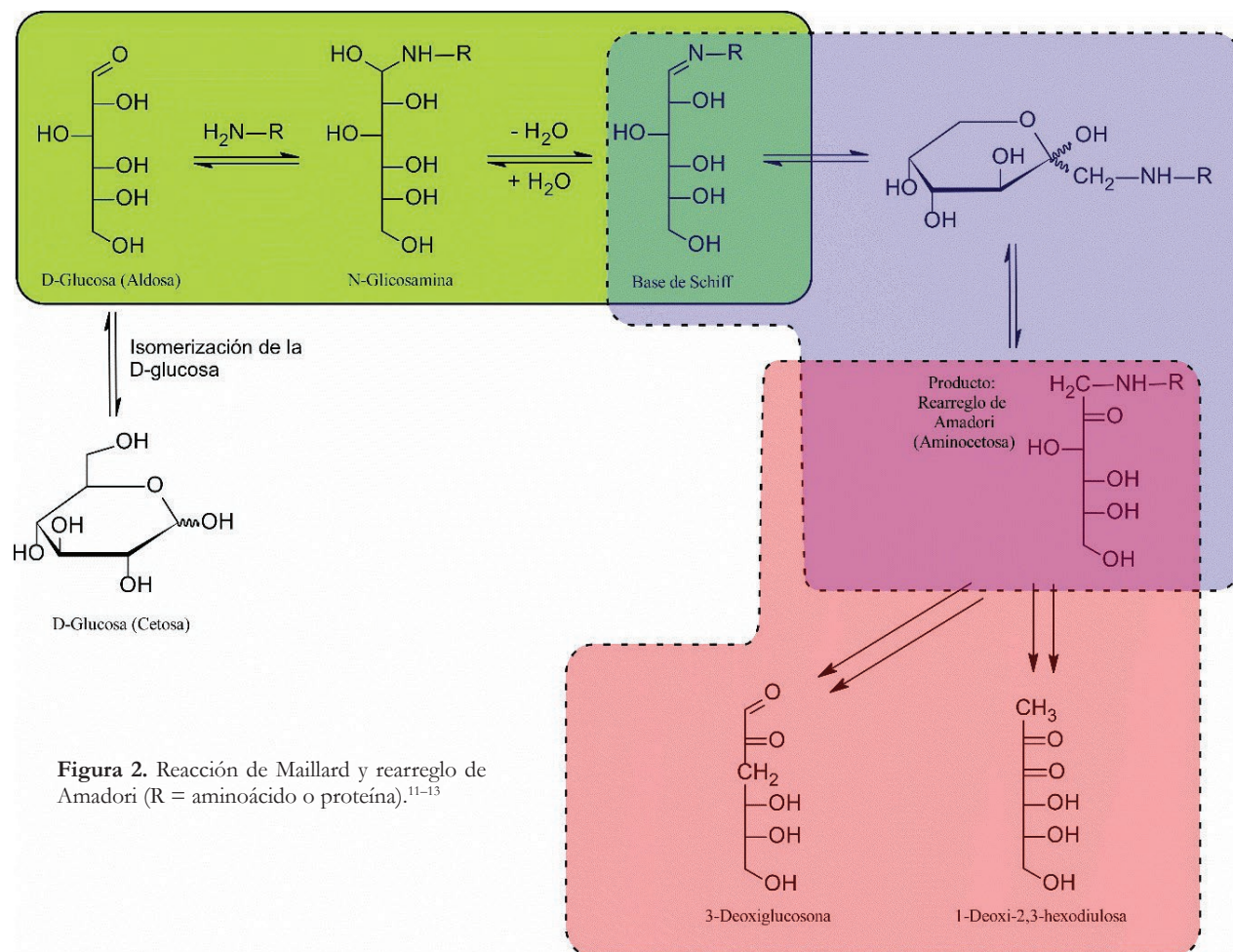
Además de las reacciones que ocurren durante la producción, se han reportado más de 700 compuestos en diversos tipos de cerveza debidos a una gran variedad de reacciones de envejecimiento, las cuales dependen del tipo de cerveza, de la temperatura de almacenamiento y del contenido de oxígeno disuelto.<sup>9</sup>

A continuación, describiremos una serie de reacciones (y sus mecanismos) que tienen lugar en la elaboración o durante el almacenamiento de la cerveza. Comenzaremos con la descripción de la reacción de Maillard, que es, a su vez, precursora de otras reacciones como el rearreglo o reordenamiento de Amadori y la degradación de aminoácidos de Strecker. Seguidamente, se describe la formación de diacetilos y las principales reacciones de oxidación que repercuten en el sabor en la cerveza.

## LA REACCIÓN DE MAILLARD, EL REORDENAMIENTO DE AMADORI Y LA DEGRADACIÓN DE AMINO ÁCIDOS DE STRECKER: EL ORIGEN DEL COLOR DE LA CERVEZA

Uno de los pasos más importantes para producir la cerveza es el calentamiento del mosto con lúpulo. Es en este momento de calentamiento cuando se produce la reacción de Maillard y las reacciones asociadas, que son las que van a dar

6. Olšovská, J.; Štěrba, K.; Pavlovič, M.; Čejka, P., *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, **2015**, *73* (2), 2–6
7. Wietstock, P. C.; Kunz, T.; Methner, F.; *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2015**, No. 25.
8. Gerhäuser, C. *Eur. J. Cancer*, **2005**, *41* (13), 1941–1954.
9. Aron, P. M.; Shellhammer, T. H. *J. Inst. Brew.*, **2010**, *116* (4), 369–380.



**Figura 2.** Reacción de Maillard y rearrreglo de Amadori (R = aminoácido o proteína).<sup>11-13</sup>

lugar al color de la cerveza.<sup>10</sup>

La reacción de Maillard es una reacción química entre aminas (aminoácidos o proteínas) y compuestos carbonílicos (carbohidratos, aldehídos y cetonas) para crear productos marrones insolubles llamados melanoidinas. Para que se produzca esta reacción, el grupo carbonilo reactivo del carbohidrato (cuando está en su forma aldosa) interactúa con un grupo amino nucleofílico libre de un aminoácido o de una proteína en una reacción que se conoce como condensación (**Figura 2**, parte en verde) y, de esta manera, se genera la pérdida de una molécula de agua para formar una glicosilamina *N*-sustituida (conocida como base de Schiff). Esta reacción es la base de la industria de aromatizantes.<sup>10</sup>

Los reordenamientos de las bases de Schiff dan lugar a la formación de aminocetosos mediante un proceso co-

nocido como “reordenamiento de Amadori” (**Figura 2**, sección azul). La cetosamina que resulta del reordenamiento de Amadori es un intermediario importante en la química de Maillard pues puede degradarse y formar una variedad de compuestos carbonílicos como la 3-deoxiglucosona y la 1-desoxi-2,3-hexodiolosa (**Figura 2**, sección roja), que son mucho más reactivas que el carbohidrato original.<sup>14</sup>

Cuando un aminoácido libre como la valina reacciona con un compuesto  $\alpha$ -dicarbonílico (como la 3-desoxiglucosona o 1-desoxi-2,3-hexodiolosa de la **Figura 2**, sección azul) se produce la degradación de Strecker (**Figura 3**). Esta reacción implica un proceso de transaminación, seguido de la descarboxilación del  $\alpha$ -cetoácido subsiguiente para producir CO<sub>2</sub>. El compuesto resultante es un aldehído con un átomo de carbono menos que el aminoácido de origen (**Figura 3**).<sup>11-13</sup>

La combinación de algunos de los productos generados en todas las reacciones mencionadas da lugar a la for-

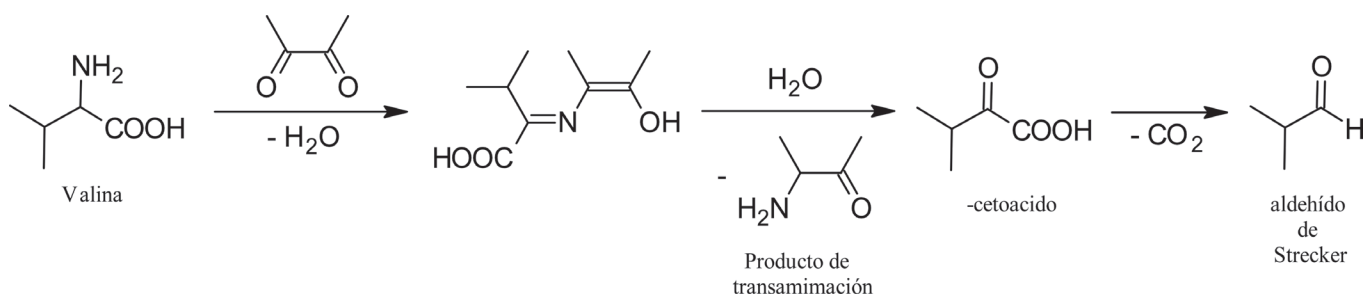
10. Martins, S.; Martins, S. I. F. S.; Jongen, W. M. F. *Trends Food Sci. Technol.* **2001**, *11*, 364–373.

11. Kuchel, L.; Brody, A. L.; Wicker, L. *Packag. Technol. Sci.* **2006**, *19* (1), 25–32.

12. Vanderhaegen, B.; Neven, H.; Verachtert, H.; Derdelinckx, G. *Food Chem.* **2006**, *95* (3), 357–381.

13. Baert, J. J.; De Clippeleer, J.; Hughes, P. S.; De Cooman, L.; Aerts, G. *J. Agric. Food Chem.* **2012**, *60* (46), 11449–11472.

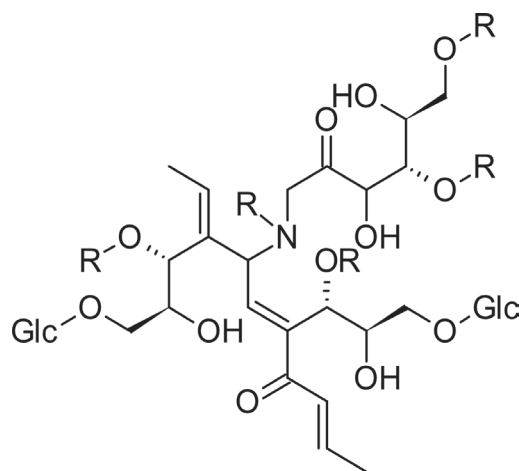
14. Horvat, Š.; Jakas, A. *J. Pept. Sci.* **2004**, *10* (3), 119–137.



**Figura 3. (arriba)** Degradación de amino ácidos de Strecker.<sup>11-13</sup>

**Figura 4. (derecha)** Estructura propuesta de Melanoidinas basadas en carbohidratos, Glc = glicina, R = H, Glc, (Glc)<sub>n</sub>.<sup>15,16</sup>

mación de las melanoidinas coloreadas, que son las responsables de las diferentes tonalidades de amarillo o marrón que observamos en los diferentes tipos de cerveza. El mecanismo de formación de estas melanoidinas no está del todo claro, pero se sabe que son polímeros y copolímeros nitrogenados de color marrón cuyas estructuras no han sido definidas, aunque existen estructuras propuestas basadas en carbohidratos, como el de la **Figura 4**.<sup>15,16</sup>



## LOS DIACETILOS Y EL INDESEABLE SABOR A MANTEQUILLA QUE DEBE SER ELIMINADO DURANTE LA MADURACIÓN DE LA CERVEZA

El diacetilo o 2,3-butanodiona es una dicetona vecinal que se forma durante la fermentación de la cerveza y se caracteriza por un sabor indeseable del tipo mantequilla-caramelo. En consecuencia, esta dicetona debe ser eliminada antes de que la cerveza llegue al consumidor. ¿Cómo se forma y se elimina? El diacetilo se forma como un subproducto de la biosíntesis de valina por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y su remoción prolonga el proceso de preparación general de la cerveza. Este proceso se muestra en la **Figura 5** y ocurre durante la fermentación, como ahora se detalla. Los sustratos fermentables, constituidos principalmente por carbohidratos como glucosa, maltosa, sacarosa, fructosa y maltotriosa, son convertidos en etanol y CO<sub>2</sub> por la acción de la *Saccharomyces cerevisiae*, pero en el camino se produce piruvato (**Figura 5**), que es el origen del sabor indeseable mencionado.<sup>17-19</sup>

Efectivamente, el diacetilo se produce a partir de la descarboxilación oxidativa espontánea no enzimática de áci-

dos α-acetolácticos (α-acetohidroxiácidos) que se forman a partir del piruvato y actúan como intermediarios en las vías de biosíntesis de valina. Esta conversión de los ácidos α-acetolactato en diacetilos se ve afectada principalmente por factores cinéticos como el pH y la temperatura. Las células de levadura también son capaces de asimilar y reducir el diacetilo mediante la formación de acetoína y, finalmente, 2,3-butanodiol, que tienen umbrales de sabor mucho más altos comparados con el diacetilo y, por tanto no afectan el sabor y aroma de la cerveza. La concentración de diacetilo total (ácido α-acetolactato y diacetilo libre) en la cerveza final es muy reducida, aunque la fase de maduración está directamente afectada por la cantidad de diacetilo presente en la cerveza.<sup>17,18</sup>

## PROCESOS DE OXIDACIÓN Y ESTABILIDAD DEL SABOR EN LA CERVEZA

El oxígeno desempeña un papel muy importante en la elaboración de la cerveza. Se ha reconocido como un factor de crecimiento para la levadura y se sabe que se requieren niveles óptimos en el mosto para promover el crecimiento vigoroso de la misma. Sin embargo, su presencia, incluso a nive-

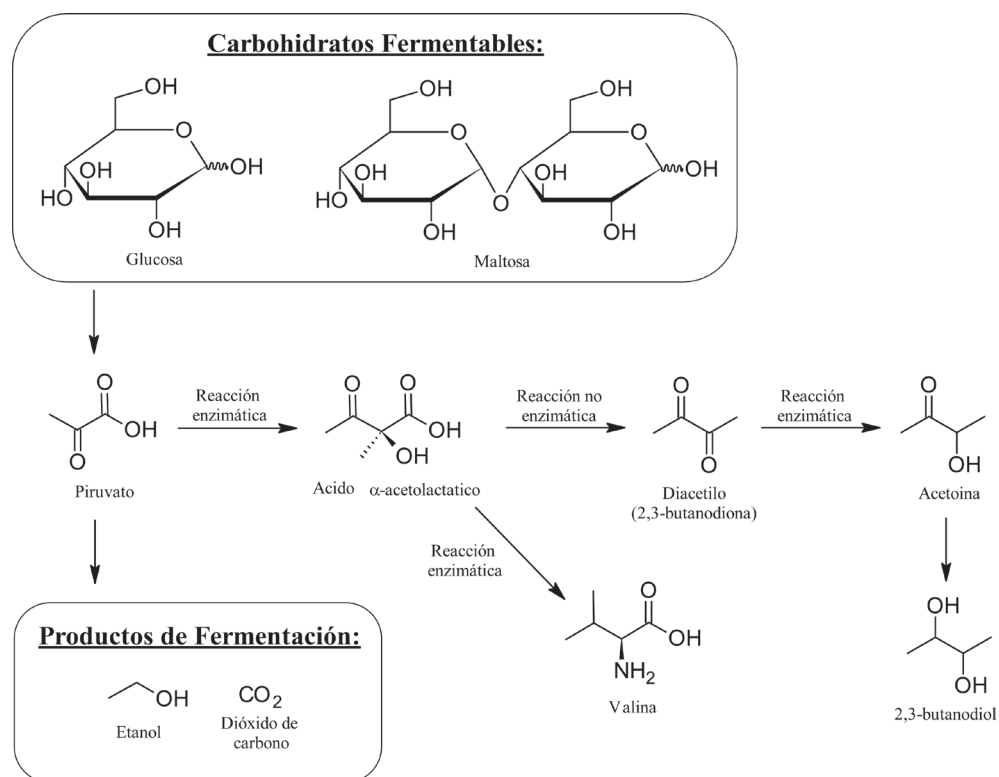
15. Cämmerer, B.; Jalyschko, W.; Kroh, L. W. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50* (7), 2083–2087.

16. Wang, H. Y.; Qian, H.; Yao, W. R. *Food Chem.* **2011**, *128* (3), 573–584.

17. Krogerus, K.; Gibson, B.; Hytonen, E. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **2015**, *73* (1), 90–99. (□)

18. Wainwright, T. *J. Ins. Brew.* **1973**, *79*, 451–470. (□)

19. Landaud, S.; Lieben, P.; Picque, D. *J. Inst. Brew.* **1998**, *104* (2), 93–99.



**Figura 5.** Vías de formación y eliminación de diacetilo en levadura.<sup>17</sup>

les muy bajos en las etapas posteriores de la elaboración de la cerveza, como la filtración y envasado, tiene efectos desfavorables sobre el sabor, la estabilidad del sabor y la vida útil del producto terminado.<sup>20</sup> La estabilidad del sabor en la cerveza es la mayor preocupación ya que la misma se deteriora desde el momento en que se envasa como consecuencia de la oxidación de compuestos tales como alcoholes, iso-ácidos y ácidos grasos. El oxígeno contribuye a la producción de compuestos carbonílicos tales como el 2-heptenal, 2-octenal y *trans*-2-nonenal con umbrales de sabor muy bajos, es decir, que son detectados fácilmente por el consumidor. Por lo tanto, el contenido de oxígeno en la cerveza envasada debe ser bajo para lograr una mayor estabilidad del sabor. La oxidación genera la formación de compuestos carbonílicos a través de cinco principales reacciones o mecanismos como son: la degradación de Strecker de aminoácidos, la degradación oxidativa de iso-ácidos, la oxidación mediada por melanoidinas de alcoholes superiores, la condensación aldólica (aldehídos de cadena corta) y la oxidación enzimática y no enzimática de ácidos grasos.<sup>15</sup> A continuación se detallan las reacciones más importantes de las mencionadas anteriormente.

## 1.- La degradación de Strecker de los aminoácidos

La degradación de Strecker es responsable de la formación de los denominados aldehídos de Strecker y el mecanismo de esta reacción se ha descrito previamente (Figura 3). Es importante mencionar que los aminoácidos libres en la cerveza almacenada son una fuente de aldehídos, como por

ejemplo el 2-metil-propanal, 2-metil-butenal y 3-metil-butenal, cuya formación aumenta cuando los aminoácidos valina y leucina están libres en presencia de oxígeno (estas reacciones son catalizadas por los iones Fe y Cu). Los compuestos α-dicarbonílicos responsables de la degradación de Strecker en la cerveza son posiblemente formados por la reacción de Maillard, la oxidación de los polifenoles o la oxidación de los reductores.<sup>11,12</sup>

Con el paso de los años el conocimiento y la comprensión de la estabilidad del sabor de la cerveza han mejorado sustancialmente, y se ha demostrado el papel indiscutible de los aldehídos. Desde un punto de vista químico los mecanismos por los cuales se forman los aldehídos se han ido revelando, bien sea en detalle o hasta un nivel en el que se ha alcanzado un entendimiento razonable y, aunque aún no está claro hasta qué punto los aldehídos se generan en el proceso de almacenamiento, también existen evidencias que postulan que la generación de aldehídos ocurre desde el origen y durante todo el proceso de la elaboración de la cerveza. Ahora bien, lo que sí está claro es que al liberarse aldehídos en el producto se produce un sabor rancio, el cual debe minimizarse para obtener y mantener un sabor fresco a los consumidores.<sup>13</sup>

## 2.- Degradación oxidativa de iso-α-ácidos y la pérdida de amargor de la cerveza

Como ya se ha indicado anteriormente, la producción de cerveza implica la ebullición del mosto junto con el lúpulo, el cual actúa también como un conservante natural para

20. Howard, G. A.; Mawer, J. D. R. *J. Inst. Brew.* **1977**, *83* (3), 144–152.

esterilizar la solución de mosto. El lúpulo se ha utilizado durante mucho tiempo en el proceso de elaboración de la cerveza por su aporte de aroma y amargor. En particular, la fuente de la amargura de la cerveza proviene principalmente de los  $\alpha$ -ácidos (humulona, cohumulona y adhumulona, ver **Figura 6**) encontrados dentro de las glándulas de la lupulina.<sup>9,21,22</sup>

Durante el proceso de elaboración de la cerveza, los  $\alpha$ -ácidos como la humulona se degradan a *cis*-y *trans*-isohumulona. Este proceso de isomerización implica la contracción del anillo de seis miembros del compuesto  $\alpha$ -ácido a un anillo iso- $\alpha$ -ácido de cinco miembros con dos centros quirales a través del reordenamiento de aciloides, dando como resultado los diastereoisómeros *cis* y *trans* (**Figura 6**).<sup>21</sup>

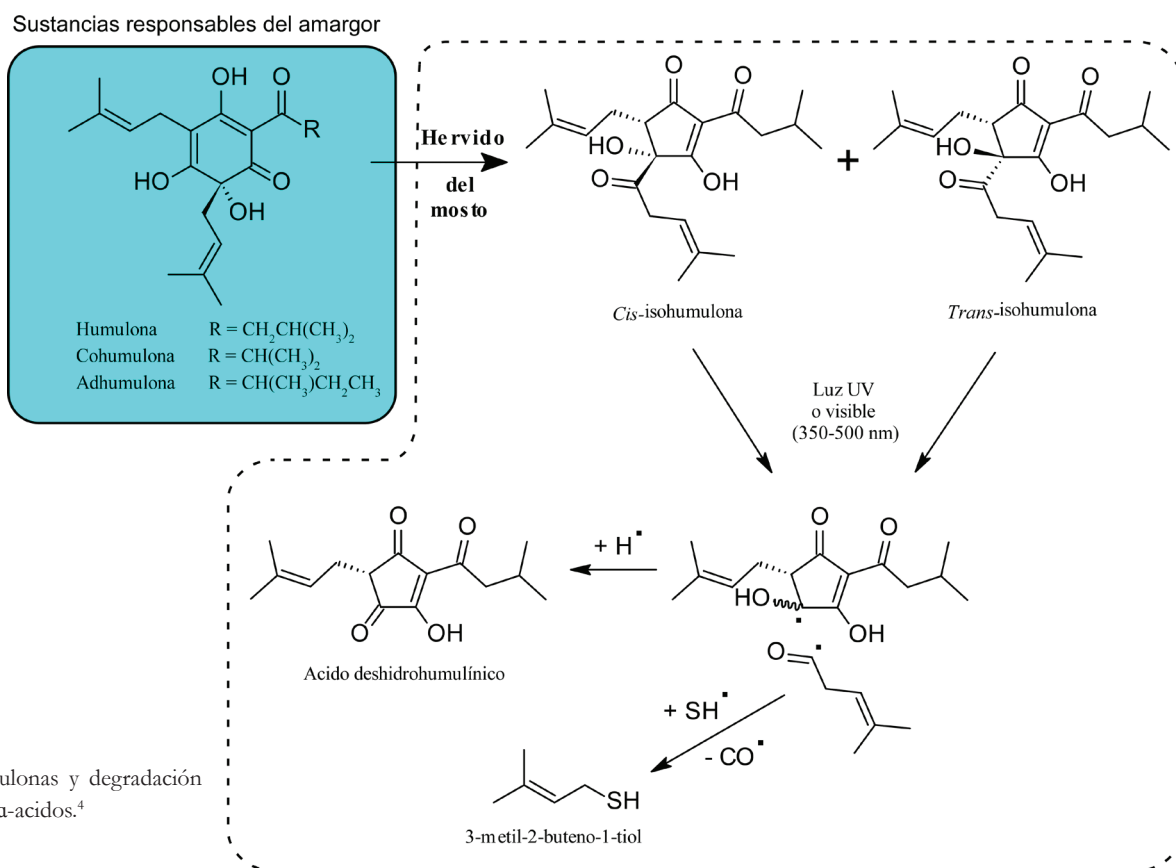
La degradación oxidativa de las isohumulonas en las cervezas almacenadas produce una disminución de la amargura y aumenta la sensación de notas de sabor "skunky" (término empleado para describir olores y sabores desagradables). Estos iso- $\alpha$ -ácidos son cromóforos sensibles a la luz, por lo que su presencia activa la ruptura de enlaces que conduce a la formación de un par de radicales cetilos, las cuales dan lugar a nuevas sustancias como el 3-metil-2-buteno-1-tiol,

también conocido como "thiol skunky", que tiene alto impacto en el sabor.<sup>4,11,23</sup>

### 3.- Oxidación de alcoholes superiores mediada por melanoidinas

Las melanoidinas, como se indicó anteriormente, se forman durante la última etapa de la reacción de Maillard. Estos compuestos no solo influyen en el color: se ha demostrado que las melanoidinas poseen ciertas propiedades como agentes antioxidantes, a través de la prevención oxidativa de lípidos.<sup>14,24,25</sup>

Sin embargo, el oxígeno molecular en presencia de melanoidinas oxida también alcoholes superiores (alcoholes que poseen más de dos átomos de carbono que se producen en el proceso de fermentación en la mayoría de las bebidas alcohólicas). Esta oxidación procede con mayor rapidez a altas temperaturas de almacenamiento y a valores de pH bajos. Se cree que los compuestos formados contribuyen al "sabor de cartón", una de las características del envejecimiento de la cerveza.<sup>25</sup>



**Figura 6.** Humulonas y degradación oxidativa de iso- $\alpha$ -ácidos.<sup>4</sup>

21. Urban, J.; Dahlberg, C. J.; Carroll, B. J.; Kaminsky, W. *Angew. Chemie - Int. Ed.* **2013**, *52* (5), 1553–1555.

22. Bett, G.; Peppard, T. L.; Haley, J. J. *Inst. Brew.* **1981**, *87* (3), 158–159.

23. M. Vanhoey, M. Vandewalle, M. V. J. *Inst. Brew.* **1970**, *105*, 372–378.

24. Hashimoto, N. J. *Inst. Brew.* **1972**, *78* (1), 43–51.

25. Echavarría, A. P.; Pagán, J.; Ibarz, A. *Sci. Agropecu.* **2013**, *4*, 45–54.

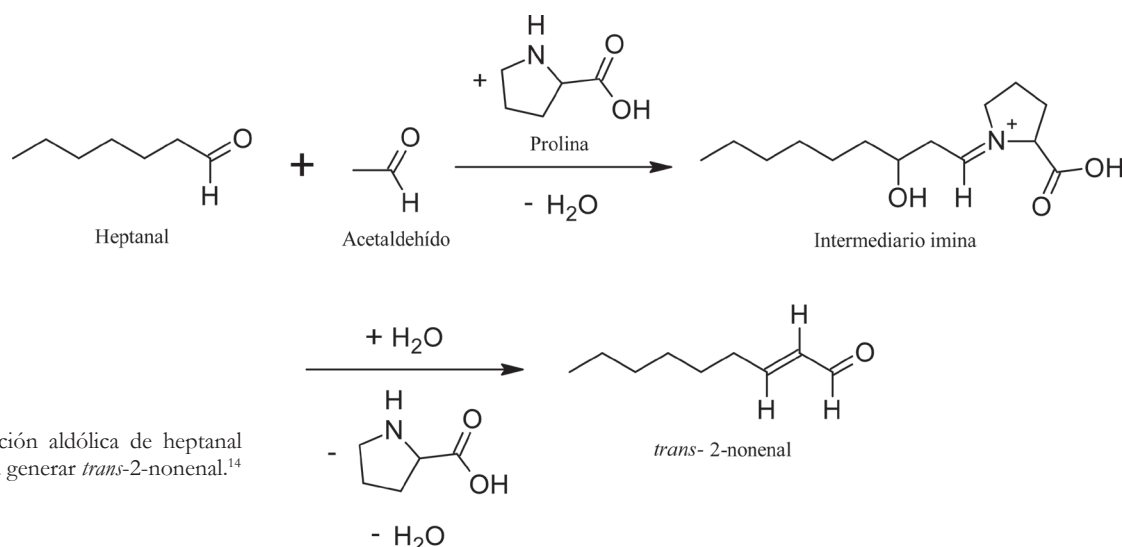


Figura 7. Condensación aldólica de heptanal con acetaldehído para generar *trans*-2-nonenal.<sup>14</sup>

#### 4.- La condensación aldólica de aldehídos de cadena corta

A diferencia de la degradación de aminoácidos de Strecker, en la condensación aldólica de aldehídos de cadena corta se generan aldehídos insaturados de cadenas más largas, que contribuyen al envejecimiento y rancidez de la cerveza.<sup>13</sup>

Bajo condiciones suaves o "condiciones ideales" durante el almacenamiento de la cerveza, existe la posibilidad de que se produzca la condensación aldólica de compuestos carbonílicos de cadena corta que se forman durante la elaboración del mosto. Un ejemplo ilustrativo de este proceso es la formación de 2-alquenasales tales como el *trans*-2-nonenal mediante la condensación de heptanal con acetaldehído en presencia de prolina (Figura 7). En esta reacción, el aminoácido actúa como un catalizador básico que interviene a través de la formación de una imina intermediaria (condensación de aldehídos saturados con prolina).<sup>11,12</sup>

#### 5.- Oxidación enzimática y no enzimática de ácidos grasos

La composición lipídica de las materias primas para la elaboración de la cerveza ha sido ampliamente estudiada debido a la importancia que tienen en el metabolismo de la levadura, en las propiedades espumantes del mosto y la cerveza, y en el desarrollo de aromas extraños en la cerveza almacenada.<sup>23</sup> Los principales lípidos extraídos de la malta son ácidos grasos libres tales como monoglicéridos, triglicéridos y fosfolípidos polares y glicolípidos. Los ácidos grasos libres en la cerveza son importantes porque algunos de ellos tienen un alto potencial en el sabor. Por ejemplo, la degradación oxidativa por procesos enzimáticos o por reacciones de radicales libres de los ácidos linoleico y linolénico pueden conducir a la formación de un envejecimiento característico del sabor.<sup>26</sup>

Existen dos posibles vías para la oxidación de ácidos grasos en la cerveza: la autooxidación y la oxidación enzimática con lipoxigenasas (conocidas como LOX). La autooxidación solo tiene lugar durante los procesos de trituration y malteado, ya que las lipoxigenasas se desactivan durante la pasteurización. Por otro lado, los ácidos grasos se oxidan en presencia de LOX para generar compuestos carbonílicos; por ejemplo, la LOX en el mosto produce la oxidación del ácido linoleico para formar el *trans*-2-nonenal, un compuesto que es responsable del 'sabor a cartón' en la cerveza. Aparte del *trans*-2-nonenal, se ha sugerido la oxidación de lípidos para la formación de varios aldehídos saturados e insaturados.<sup>11,12,27</sup>

La autooxidación produce varios hidroperóxidos que son inestables y se degradan en compuestos de bajo peso molecular como aldehídos, ácidos carboxílicos y cetonas que incluyen 2-alquenasales y 2,4-alquienales.<sup>12,26,27</sup>

#### COMENTARIO FINAL

En este artículo se describe la química de la formación de los sabores dominantes y aromas de la cerveza, desde su elaboración hasta su almacenamiento. Un ejemplo de esto es el lúpulo que, a pesar de ser un ingrediente menor en la elaboración de la cerveza, tiene un enorme impacto en la calidad sensorial y física de la cerveza. También se describieron los posibles precursores que producen cambios en el sabor y aroma durante el almacenamiento de la cerveza. Como se ha visto, la cerveza es una bebida alcohólica compleja que contiene numerosos compuestos con sabor activo en una amplia gama de concentraciones, por lo que su sabor final depende de un delicado equilibrio de todos estos compuestos.

26. Kaneda, H.; Kano, Y.; Osawa, T.; Kawakishi, S.; Kamimura, M. *Agric. Biol. Chem.* **1990**, *54* (8), 2165–2166.

27. Annkess, B. B. J. *Inst. Brew.* **1984**, *90*, 315–318.

Muchos de estos compuestos han sido identificados, pero muchos otros aún son desconocidos. El sabor de la cerveza cambia durante el almacenamiento, dependiendo de condiciones como el tiempo, la temperatura y la exposición a la luz. Durante el almacenamiento de la cerveza se producen diferentes reacciones químicas que dan lugar a los llamados compuestos de envejecimiento que deterioran el sabor y la vida útil de la cerveza, estos cambios en el sabor de la cerveza pueden afectar las expectativas del consumidor. Para los fabricantes de cerveza es un desafío hacer sus productos consistentes en sabor y mantener el equilibrio del mismo durante el mayor tiempo posible en el mercado. Uno de los principales desafíos en la elaboración de la cerveza es la reducción del contenido total de oxígeno en el producto terminado, de modo que la comprensión de la ciencia apoya y ayuda a los fabricantes de cerveza a desarrollar mejoras tecnológicas para controlar y

optimizar el sabor de sus productos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis colegas de la Cervecería Regional, en particular a Antonio Querales, Herwin López, Kerwin Bermúdez, Bruno González, Gabriel Abreu, Jorge Prato y Ericson Espina por sus contribuciones sustanciales a mis conocimientos en la elaboración de cerveza. Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a SURTRACREV por brindarme la gran oportunidad de haber trabajado en la Cervecería Regional C.A.

*Recibido: 22 de diciembre de 2016*

*Aceptado en su forma final: 24 de abril de 2018*

## BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

Kuchel, L.; Brody, A. L.; Wicker, L. *Oxygen and Its Reactions in Beer. Packag. Technol. Sci.* **2006**, *19* (1), 25–32. (📄)

De Keukeleirc, D. *FUNDAMENTALS OF BEER AND HOP CHEMISTRY. Quim. Nova* **2000**, *23* (1), 108–112. (📄)

Vanderhaegen, B.; Neven, H.; Verachtert, H.; Derdelinckx, G. *The chemistry of beer aging—a critical review. Food Chem.* **2006**, *95* (3), 357–381. (📄)