

Ventajas de la producción de cerveza a partir de malta de sorgo. Revisión bibliográfica

Advantages of Beer Production from Sorghum Malt. Literature Review

MSc.Yanet Boffill-Rodríguez, Dr.Irenia Gallardo-Aguilar

Departamento de Ingeniera Química, Facultad Química-Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu", Las Villas, Santa Clara, Cuba. yanetb@uclv.edu.cu , irenia@uclv.edu.cu

RESUMEN

La presente revisión bibliográfica resalta las principales ventajas del empleo de la malta de sorgo como materia prima fundamental en el proceso de producción de cerveza para países tropicales productores del cereal. El cultivo del sorgo es económicamente rentable basado en su resistencia a la sequía y a la realización de varias cosechas; por tanto, se disminuye significativamente la importación de cebada. Además, las cervezas de sorgo contienen un alto contenido de calorías, vitaminas del complejo B, aminoácidos esenciales y minerales. Por ende, la renovación propuesta constituye una solución idónea para la economía de cada nación productora de sorgo. Por otra parte, las limitaciones presentadas se eliminan si se perfilan las etapas de malteado y maceración. El poder diastático de la malta de sorgo es mejorado, específicamente la actividad -amilasa, si en la etapa de remojo los granos son diluidos en una solución alcalina al 0,1 %.. La conversión eficiente de fragmentos de almidón en azúcares fermentables por las levaduras se alcanza con la adición de enzimas exógenas o con procesos de maceración en tres etapas lo cual permite la hidrólisis máxima del mosto. Además, para mejorar los extractos fermentables de los mostos de sorgo, se proponen la utilización de mezclas de la maltas de cebada (30-40 %) y sorgo (60-70 %) durante la maceración o la adición de jugos de frutas. Por otra parte, el contenido de y ácidos en las flores de lúpulo ayudan a inhibir las bacterias y mantienen la estabilidad de la espuma.

Palabras claves: malta de sorgo, cervezas, ventajas.

ABSTRACT

The present bibliographic review to highlight the main advantages of the use of the sorghum malt like basic raw material into of the sorghum beer brewing to tropical countries producers of sorghum. The sorghum culture is economically profitability based their resistance at the drought and at the realization of the several harvests; consequently it is decrease significantly the barley importation. Therefore, sorghum beers contain high calories contents, vitamins of the B-group, essential amino acids and minerals. As a result, the renovation proposed is an ideal solution for the economy the each nation producer of sorghum. On the other hand, the limitations presented may be deleted if the malting and mashing stage it are outlined. The diastatic power the malt is improved, -amylase activity specifically, if into steeping stage the grains are soaked in an alkaline solution diluted to 0,1%. The efficient conversion of the starch extracts into fermentable sugars for yeasts can be achieved with the addition of exogenous enzymes or mashing process in three steps which allows the maximum hydrolysis of the wort. Moreover, to improve the sorghum wort fermentable extracts, it proposed the use of barley and sorghum malts mixtures (30-40 %) and (60-70 %) during the mashing or adding fruit juices. In addition, the content of and acids in hop flowers help inhibit bacteria and maintain the stability of the foam.

Keywords: sorghum malt, beer, advantages.

INTRODUCCIÓN

La malta de cebada tradicionalmente se ha empleado en la producción de bebidas tan consumidas como las cervezas. Debido a las condiciones de cultivo de la cebada, para muchas regiones tropicales y subtropicales, este cereal es importado causando en la elaboración de cervezas un alto costo de producción. Los resultados serían otros, de hecho factibles, si se apelara por la utilización de la malta de sorgo en dicho proceso. Por ejemplo, Cuba, productor de sorgo, puede disminuir la importación de cebada con esta alternativa atractiva desde el punto de vista económico.

En Cuba se cosechan distintas variedades de sorgo y aun no se han realizado estudios a gran escala donde se utilicen una de estas variedades en el proceso de producción de cerveza. Por otra parte, dentro de las ventajas en la producción de este tipo de bebida se encuentra su alto valor nutricional. En este sentido [31] reportaron, a partir de fuentes como [33, 36], que son ricas en calorías; vitaminas del complejo B incluyendo tiamina, ácido fólico, riboflavina y ácido nicotínico; presenta alto contenido en aminoácidos esenciales como la lisina; además, contienen gran cantidad de minerales como hierro, fósforo, potasio y sodio. El objetivo de la presente revisión bibliográfica es resaltar las principales ventajas de la producción de cerveza a partir de la malta de sorgo para países productores del cereal.

Producción de cerveza sin malta de cebada

En las últimas décadas las investigaciones se han enfocado en sustituir la malta de cebada por malta de sorgo u otros cereales disponibles en la elaboración de cervezas [27, 41, 47]. En Cuba, por ejemplo, se cultivan otros cereales como el maíz y el arroz, pero, su utilización no es una alternativa apropiada ya que se emplean como principales fuentes de alimentación humana; sin embargo, en pequeñas cantidades pueden ser utilizados como adjuntos cervecedores. Las principales desventajas de esta renovación son el bajo poder diastático (PD) de la malta de sorgo, superiores puntos de gelatinización del almidón de sorgo en comparación al almidón de cebada [7, 10, 25], y la difícil filtración después de la etapa de maceración debido a la pobre actividad -glucosidasa.

Sin embargo, [8] reportó un dato importante cuando señaló que en el costo total de producción de cerveza, si se tiene en cuenta (desde la compra de materia prima, el procesamiento hasta el envasado, las ventas y los impuestos), el costo de malta en general representa solo $\sim 3,5$ % del costo total. Es evidente que los costos de los granos representan solo una contribución proporcionalmente menor en el costo total de la producción. Por supuesto, lo anteriormente expuesto se ajusta en países donde la cebada es cultivada. Por tanto, para países tropicales productores de sorgo, su malta puede significar un porcentaje similar al anterior con respecto al costo total de producción. Si a esto se le suma que su cultivo es económicamente rentable basado en las condiciones mínimas que necesita para su desarrollo y la realización de varias cosechas, y la existencia de instalaciones que elaboran cervezas, el proceso propuesto es económicamente factible, convirtiéndose esta solución en una alternativa atractiva.

Sorgo

Generalidades

Según [18], el sorgo como la cebada, pertenece a la familia Poaceae, pero se agrupa en la tribu Andropogonae y en el género Sorghum; ejemplos de especies pertenecientes a este género son el Sorghum vulgare y el Sorghum bicolor. Señalaron [4] que el sorgo, a diferencia de la cebada, se adapta a condiciones semiáridas, tropicales y subtropicales. De acuerdo a la más del 95 % del total de los alimentos a partir de sorgo son producidos en África y Asia. Por otro lado, en África [31] resaltan la variabilidad de las cervezas de sorgo en denominación y en proceso de producción según la localización geográfica, dentro de las mismas se encuentran: Ikigage, de Ruanda; Merissa, de Sudán; Doro, de Zimbabue; Dolo, de Burkina Faso; Pito y burukutu, de Nigeria; Amgba o bili bili, de Camerún; y Tchoukoutou de Benin y Togo.

Etapas de la producción de cerveza de sorgo

Malteado

Después de la selección de la variedad del cereal y la limpieza de los granos comienza el proceso de malteado el cual consiste en la germinación limitada de los granos bajo condiciones de temperatura y tiempo controladas. Este proceso involucra esencialmente remojo, germinación y secado. Señalan [1, 15, 16] que el malteado tiene como objetivo generar en los granos las enzimas hidrolíticas endógenas las cuales descomponen los compuestos principales para proporcionar azúcares fermentables, nitrógeno libre y aminoácidos libres. Además, también proporciona aroma y otros compuestos esenciales para la fermentación y la calidad sensorial de la cerveza.

La ruptura de la pared celular por la degradación de los polisacáridos de la pared celular es una de las principales etapas en el proceso de hidrólisis usado en el malteado y elaboración de cerveza, esto permite el acceso de las enzimas al contenido celular. Aunque [26, 29] señalan que los que no son hidrolizados pueden conducir a problemas durante las etapas de producción de cerveza; por ejemplo, filtración lenta y formación de espuma debido a la alta viscosidad que ellos causan. Estos problemas dan como resultado costos elevados y largos procedimientos para los procesos industriales.

Remojo

La etapa de remojo es la inmersión de los granos en agua, la cual es periódicamente cambiada, donde se le proporciona a los mismos un nivel de aireación, su objetivo es incrementar el contenido de humedad. En este sentido [19], reportan la humedad máxima hasta 42-46 % para la óptima imbibición de las semillas, contribuyendo así a una germinación homogénea [11]; en cambio, para otros autores [4] puede alcanzar solamente hasta 33-36 %. No obstante, la desventaja de alcanzar el contenido de humedad necesario es la contaminación por microorganismos, uno de los factores que afecta el proceso de fabricación de cerveza. Quizá, debido a los beneficios que aporta la etapa de remojo y a la contaminación que puede sufrir, ha sido considerada por [16, 20] como la más crítica dentro del proceso de malteado. El efecto de las condiciones de remojo ha sido investigado extensivamente, las variables que comúnmente se analizan son el tiempo y la temperatura. Para el caso del sorgo, [16] ha reportado un tiempo de 24 a 40 h a una temperatura de 30 °C para alcanzar un PD máximo de 42,6 SDU/g con la variedad (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Germinación

Después de la etapa de remojo, los granos son sometidos a la germinación en dispositivos donde son colocados en forma de capa, cubiertos durante días y rociados con agua para mantener el contenido de humedad inicial. Señalaron [48] señalaron que la germinación implica el brote de las raicillas de las semillas hasta llegar a las enzimas adecuadas que degradan el almidón. Al igual que en la etapa de remojo, en la germinación las variables evaluadas son el tiempo y la temperatura, sin embargo el óptimo de las mismas varía con la variedad de sorgo [15, 38, 42].

Reportó [3], que el desarrollo de maltasa, o -glucosidasa, en el sorgo está influenciado por la extensión del tiempo y temperatura en la germinación. Por otro lado, esta fase también es afectada por la contaminación, la cual puede producir una malta con bajo poder diastático. Recomendaron [38, 42] en la germinación de los granos de sorgo una temperatura entre 25 y 30 °C para el desarrollo óptimo del poder diastático. Asimismo, [35] reportaron que a 30 °C, de 3 a 7 días de germinación, se producen buenas modificaciones de la malta con un alto poder diastático, contenido de azúcar y nitrógeno amínico libre. Finalmente, [52] afirmaron que bajas temperaturas con alto contenido de humedad incrementa la actividad amilasa.

Secado

El secado de la malta se realiza en un horno a temperaturas relativamente altas. Señalan [31] que esta etapa tiene el objetivo de parar el crecimiento del embrión y la actividad enzimática, mientras minimiza la desnaturalización de las enzimas, y el proceso desarrolla sabor y color. En el proceso de cerveza de cebada, [34] reportó que los granos germinados son horneados en dos etapas, primero son secados a

50-60 °C y luego son curados a 80-110 °C. Defendió [38] el secado de la malta hasta 50 °C. Igualmente, [5] señalaron que mientras períodos de sacado a 80 °C pueden mejorar el sabor de la malta, tal temperatura puede dañar la actividad enzimática y reducir los compuestos volátiles. De esta manera, [46] reportaron que el secado en dos fases, pero a diferentes temperaturas a las de [34], inicialmente a 55 y luego a 65 °C, mostró la producción de buena malta con una reducción de humedad considerable y un alto contenido de azúcar comparado con una sola temperatura a 65 °C. De esta forma, las dos etapas en el secado permiten una mayor supervivencia para las enzimas hidrolíticas y para que la malta adquiera su calor característico.

Calidad del malteado

Señalan [38, 50] que los ensayos realizados comúnmente para evaluar la calidad de la malta en la producción de bebidas de sorgo son la determinación del DP y el contenido de nitrógeno amínico libre (FAN, por sus siglas en inglés).

El poder diastático de la malta, el cual es la combinación de la actividad α -amilasa [37, 52], es mejorado, específicamente la actividad α -amilasa, si en la etapa de remojo los granos de sorgo son diluidos en una solución alcalina al 0,1 % según [43, 44]. Según [9] el contenido de FAN, es importante en el proceso ya que es la fuente de nitrógeno para las levaduras durante la fermentación. Señalaron [50] que en el proceso de producción de cerveza de sorgo, es sumamente importante ya que el FAN en el mosto puede ser limitante debido a la alta proporción de adjunto de cereal no malteado. El extracto, una medida de cómo la mayor parte de la malta puede disolverse durante el proceso, es un parámetro de calidad de la malta menos importante ya que la malta se prepara con 30 % del cereal molido, según [39].

Maceración

Los objetivos de la maceración son formar y extraer dentro de la solución, compuestos necesarios como azúcares fermentables, aminoácidos, vitaminas, etc., a partir de la malta para luego ser utilizados por la levadura. Uno de los problemas señalados por [37] en la producción de cerveza de sorgo es la conversión eficiente de fragmentos de almidón en azúcares fermentables por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Altos niveles altos de extracto de almidón comparables a los de la malta de cebada han sido obtenidos por [22] mediante el uso de procedimientos de maceración no convencionales.

El procedimiento involucra, decantación después de la maceración de la malta de sorgo a 45 °C por 30 min, y gelatinización del almidón a 80 hasta 100 °C antes de mezclarlo con el mosto, hasta alcanzar una temperatura de sacarificación de 63-65 °C. Por otra parte, [45] reportan otro proceso eficiente de decocción en tres etapas el cual permite la hidrólisis máxima del mosto. En el mismo inicialmente el 70 % de la malta es macerada, durante la segunda etapa la maceración ocurre por 30 min a 65 °C y finalmente el la maceración se realiza por 30-60 min a 70 °C. Los citados autores agregan que para incrementar el rendimiento del mosto extraído se pueden adicionar enzimas externas. Generalmente, antes de la hervidura se realiza la filtración del puré. En el proceso de fabricación de las cervezas tradicionales en África la filtración se realiza por decantación simple como describen [32]. La hervidura del mosto es hecha por varias razones, en particular para provocar la desnaturalización de la enzima malta y la esterilización del mosto.

Aunque se ha reportado la realización de esta etapa [17, 30] en el proceso de fabricación de muchas cervezas tradicionales de África, esta fase no llega a

efectuarse [40, 32]. En el proceso de fabricación de cervezas en Europa, [31] señalan que las flores de lúpulo contienen y ácidos, estos le dan a la cerveza su sabor amargo, después de la isomerización de -ácidos en iso- ácidos durante la hervidura, y también ayudan a inhibir las bacterias y mantienen la estabilidad de la espuma.

Fermentación

La fermentación es una importante etapa en la cual la levadura convierte los azúcares en alcohol etílico. En las producciones de cerveza de cebada [34, 54] reportaron que la fermentación comienza con la selección de las cepas de levaduras (*S. cerevisiae* o *S. carlsbergensis*) y los tiempos de fermentación oscilan en rango entre 8-15 días a 10-16 °C. En cambio, en el caso de las cervezas de sorgo tradicionales de África, [31] señalan que el mosto de sorgo es inoculado con una levadura tradicional y los tiempos de fermentación varían entre 10 y 24 h a temperatura ambiente.

Indicaron [21, 33] que a diferencia de las cervezas Europeas hechas con cebada, las cervezas de sorgo africanas son ejemplos típicos de fermentación láctica seguida por fermentación alcohólica en la cual inicialmente, la bacteria ácido láctica (LAB), y después las levaduras, desempeñan el papel dominante. Debido a su superior velocidad de crecimiento, las bacterias típicamente dominan la etapa de fermentación.

Una relación simbiótica podría explicar la presencia simultánea de levaduras y LAB, esta última crea un ambiente favorable para la proliferación de las primeras, produciendo estas vitaminas e incrementando otros factores como aminoácidos para ayudar al crecimiento de las bacterias. Reportó [53] en comparación con las cervezas africanas, que las cervezas belgas realizan un periodo de post-fermentación muy largo donde las levaduras del género *Brettanomyces* son responsables de la creación del típico bouquet de esta cerveza.

Factores que afectan las etapas de producción de cerveza de sorgo

Variedades de sorgo

Las diferentes variedades de sorgo influyen, debido a su composición, en la disponibilidad de los sustratos utilizados posteriormente por la levadura en la etapa de fermentación, guardando relación con el contenido de azúcares reductores. En este sentido, los resultados obtenidos por [2] mostraron que diferentes variedades de sorgo malteado (a 30 °C) y macerados bajo similares condiciones mostraron amplia variación en sus perfiles de azúcares debido a diferencias estacionales y de procesamiento (malteado a 20 y 30 °C). No obstante, las variaciones causadas por la variedad de semillas y la temperatura de malteado no alteran la gran influencia ejercida por la gelatinización del almidón en el perfil de azúcar del mosto de sorgo que en el perfil de azúcar del mosto de cebada como señaló [4]. Por otra parte, el malteado da como resultado proporciones diferentes de - y -amilasas en dependencia de diferentes variedades de sorgo, como fue reportado por [45]. Además, la variedad de sorgo también determina la temperatura de gelatinización.

Contenido de taninos

El contenido de taninos influye en la actividad enzimática, por tal motivo su estudio es de vital importancia en la elaboración de bebidas a partir de sorgo, si se trabajan con variedades tales como el sorgo rojo. Por ejemplo, [28] reportaron que los taninos forman complejos con enzimas hidrolíticas y las inactivan. Los cambios en

la permeabilidad de la cubierta de la semilla pueden ser grandes y rápidos permitiendo así pérdidas superiores de sólidos. Parte de los taninos pueden entrar dentro del endospermo solo con el agua ingerida. Las pérdidas de taninos, por lo tanto, fueron atribuidas por [13] al filtrado durante el malteado. Durante la germinación, las semillas de sorgo son remojadas en agua la cual puede disminuir algunos nutrientes solubles en agua, incluyendo taninos.

Producción de azúcares fermentables

Señalaron [48] que la mayor diferencia con respecto a la cantidad de azúcares fermentables entre el mosto del sorgo y el de cebada, radica en el contenido de glucosa. Algunos estudios han encontrado en los mostos malta de cebada más maltosa que glucosa [12]; otros, en cambio, han reportado que los mostos malta de sorgo contiene niveles similares de glucosa y maltosa [49]. La diferencia observada en las proporciones de maltosa y glucosa en el mosto de malta sorgo y de cebada ha sido atribuida a los bajos niveles de -amilasa en la malta de sorgo. Otros autores [51] representa un problema serio para la filtración del macerado de la malta de sorgo. Proponen [31] una solución a este problema, pero solo a corto término la adición de enzimas hemicelulolíticas exógenas. El agua utilizada durante la germinación puede disminuir algunos nutrientes solubles en agua, incluyendo taninos.

CONCLUSIONES

Para países tropicales productores de sorgo, cultivo de fácil adaptación a las condiciones severas, es muy ventajosa la utilización de la malta de sorgo en el proceso de producción de cerveza ya que disminuye la importación de malta de cebada. Además, las limitaciones presentadas en el presente trabajo se pueden eliminar si se mejoran las etapas de malteado y maceración. El poder diastático de la malta de sorgo es mejorado, específicamente la actividad -amilasa, si en la etapa de remojo los granos son diluidos en una solución alcalina al 0,1 %.

La conversión eficiente de fragmentos de almidón en azúcares fermentables por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se puede alcanzar con la adición de enzimas exógenas o con procesos de maceración en tres etapas lo cual permite la hidrólisis máxima del mosto. Además, para mejorar los extractos fermentables de los mostos de sorgo, se proponen la utilización de mezclas de cebada malteada (30-40 %) con (sorgo 60-70 %) durante la maceración o la adición de jugos de frutas. Por otra parte, el contenido de y ácidos en las flores de lúpulo ayudan a inhibir las bacterias y mantienen la estabilidad de la espuma.

NOMENCLATURA

PD: Poder diastático

FAN: Nitrógeno amínico libre, por sus siglas en inglés

BIBLIOGRAFÍA

1. AGU, R. C.; PALMER, G. H. "Enzymatic breakdown of endosperm proteins of sorghum at different malting temperatures". J. Inst. Brew., 1996, 102, p. 415-418.
2. AGU, R. C.; PALMER, G. H. "Alpha-glucosidase activity of sorghum and barley malts". J. Inst. Brew., 1997, 103, p. 25-29.

3. AGU, R. C.; PALMER, G. H. "The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting". *Process Biochem.* 1997, 32, p. 501-507.
4. AGU, R. C. ; PALMER, G. H. " A reassessment of sorghum for larger-beer brewing". *Bioresour. Technol.*, 1998, 66, p. 253-261.
5. AISIEN, A. O.; MUTS, G. C. J. "Micro-scale malting and brewing studies of some sorghum varieties". *J. Inst. Brew.*, 1987, 93, p. 328-331.
6. AISIEN, A. O.; PALMER, G. H. "The sorghum embryo in relation to the hydrolysis of the endosperm during germination and seedling growth". *J. Sci. Food Agric.* 1983, 34, p. 113-121.
7. AKINGBALA, J. O.; ROONEY, L. W.; PALACIOS, L. G.; SWEAT, V. E. "Thermal properties of sorghum starches". Patancheru, India: ICRISAT, 1982, p. 251-261.
8. BAMFORTH, C. W. "Opportunities for newer technologies in the oldest biotechnology, brewing". *Appl. Biotechnol. Food Sci. Policy*, 2003, 1, p. 213-222.
9. BAXTER, E. D. " The importance of barley protein in malting". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1981, 32, p. 409- 410.
10. BETA, T.; CORKE, H. "Genetic and environmental variation in sorghum starch properties". *J. Cereal Sci.*, 2001, 34, p. 261-268.
11. BRIGGS, D. E. 1978. *Barley*, London: Chapman & Hall.
12. BRIGGS, D. E.; HOUGH, J. S.; STEVENS, R.; YOUNG, T. W. *Malting and brewing science*. London: Chapman & Hall, Vol. 1, 1981.
13. CAPANZANA, M. V.; MALLESHI, N. G. " Studies on malting of rice". *Asean Food J.* 1989, 4, p. 111-115.
14. DALE, C. J.; T.W.YOUNG; MAKINDE, A. "Extruded sorghum as a brewing raw material". *J. Inst. Brew.*, 1989, 95, p. 157-164.
15. DEMUYAKOR, B.; OHTA, Y. "Malt characteristics of Sor-ghum vulgare varieties from Ghana". *J. Sci. Food Agric*, 1992, 59, p. 457-462.
16. DEWAR, J.; TAYLOR, J. R. N. ; BERJAK, P. "Determination of improved steeping conditions for sorghum malting". *J. Cereal Sci.* 1997, 26, p. 129-136.
17. DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VORAGEN, A. G. J.; BERKEL, W. J. H. "Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities". *African Journal of Biotechnology*, 2006, Vol. 5, p. 384-395.
18. FAO. "Sorghum and millets in human nutrition". *FAO Food Nutrition Series* 27. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy, 1995.
19. FAUCONNIER, M.-L.; JARDIN, P.-D.; JAMAR, C. "Cell wall polysaccharides hydrolysis of malting barley (*Hordeum vulgare* L.): a review". *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2011, 15, Vol. 2, p. 301-313.
20. FRENCH, B. J.; MCRUER, G. R. "Malt quality as affected by various steep aeration regimes". *Techn. Q. Master Brew. Assoc. Am.*, 1990, 27, p. 10-14.

21. HOLZAPFEL, W. "Use of starter cultures in fermentation on a household scale". *Food Control*, 1997, 8, p. 241-258.
22. IGYOR, M. A.; OGBONNA, A. C.; PALMER, G. H. "Effect of malting temperature and mashing methods on sorghum wort composition and beer flavour". *Process Biochem.*, 2001, 36, p. 1039-1044.
23. ILORI, M. O.; AKINGBALA, J. O. "Malting properties of some Nigerian sorghum varieties". *Ife Journal of Technology*, 1991, 3, p. 1-6.
24. MAKINWA, B. O.; IREFIN, I. A. et al. "Brewing industry in Nigeria". *Food Rev.*, 1996, 12, Vol. 4, p. 511-523.
25. OGUNDIWIN, J. O. et al. "Development of stout from sorghum malt". *Lebensmittel und Technologies*, 1991, 24, p. 185-188.
26. IZYDORCZYK, M. S.; DEXTER, J. E. "Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products-a review. *Food Research Intern.*, 2008, 41, p. 850-868.
27. JACOB, A. A.; FIDELIS, A. E.; SALAUDEEN, K. O.; QUEEN, K. R. "Sorghum: Most under-utilized grain of the semi-arid Africa". *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 2013, 3, Vol. 4, p. 147-153.
28. JAMBUNATHAN, R.; MERTZ, E. T. "Relationship between tannin levels, rat growth and distribution of proteins in sorghum". *J. Agric. Food Chem.*, 1973, 22, p. 1156-1159.
29. JIN, Y. L.; SPEERS, R. A.; PAULSON, A. T.; STEWART, R. J. "Barley β -glucan and their degradation during malting and brewing". *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.*, 2004, 41, Vol. 3, p. 231-240.
30. KAYODÉ, A. P. P.; HOUNHOUIGANA, J. D.; NOUT, M. J. R.; NIEHOF, A. "Household production of sorghum beer in Benin: technological and socio-economic aspects. *Int. J. Consum. Stud.*, 2007, 31, p. 258-264.
31. LYUMUGABE, F.; GROS, J.; NZUNGIZE, J.; BAJYANA, E.; THONART, P. "Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt: a review". *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2012, 16, Vol. 4, p. 509-530.
32. LYUMUGABE, L.; KAMALIZA, G.; BAJYANA, E.; THONART, P. "Microbiological and physico-chemical characteristics of Rwandese traditional beer "Ikigage"". *Afr. J. Biotechnol.*, 2010, 9, p. 4241-4246.
33. MAOURA, N.; POURQUIE, J. "Sorghum beer: production, nutritional value and impact upon human health". En: PREEDY V.R., E. *Beer in health disease prevention*. Burlington, MA, USA: Elsevier Academic Press, p. 53-60.
34. MOLL, M. *Bières*, Paris: Lavoisier Tec & Doc, 1991.
35. MORRALL, P.; BOYD, H. K.; TAYLOR, J. R. N.; VANDERWALT, W. H. "Effect of germination time, temperature and moisture on malting of sorghum (Sorghum bicolor)". *J. Inst. Brew.*, 1986, 92, p. 439-445.

36. NOUT, M. J. R. "Composition of foods: African traditional beers". Food Lab. Newsl., 1987, 8, p. 18-20.
37. NOVELLIE, L. "Kaffircorn malting and brewing studies. III. Determination of amylases in kaffircorn malts". Journal of Science of Food and Agriculture, 1959, 10, p. 441-449.
38. NOVELLIE, L. "Kaffircorn malting and brewing studies XI. Effect of malting conditions on the diastatic power of kaffircorn malts". J. Sci. Food Agric., 1962, 13, p. 115-120.
39. NOVELLIE, L. "Kaffircorn malting and brewing studies. XIV. Mashing with kaffircorn malt: Factors affecting sugar production". Journal of the Science of Food and Agriculture, 1966, 17, p. 354-361.
40. NZIGAMASABO, A.; NIMPAGARITSE, A. "Traditional fermented foods and beverages in Burundi". Food Res. Int., 2009, 42, p. 588-594.
41. OGBEIDE, S. O. "Investigating the use of sorghum as malted barley adjunct in brewing process". Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS), 2011, 2, Vol. 3, p. 521-524.
42. OKAFOR, N.; ANICHE, G. N. "Brewing a lager beer from Nigerian sorghum". Brew. Distilling Int., 1980, 10, p. 32-35.
43. OKOLO, B. N.; EZEUGU, L. I. "Duration of final warm water steep as a crucial factor in protein modification in sorghum malts". J. Inst. Brew., 1996, 102, p. 167-177.
44. OKUNGBOWA, J.; OBETA, J. A. N.; EZEUGU, L. I. "Sorghum b-amylase production: relationship with grain cultivar, steep regime, steep liquor composition and kilning temperature. J. Inst. Brew., 2002, 108, p. 362-370.
45. OWUAMA, C. I. "World Journal of Microbiology and Biotechnology". Sorghum: a cereal with lager beer brewing potential, 1997, 13, p. 253-260.
46. OWUAMA, C. I.; ASHENO, I. "Studies on malting conditions for sorghum". Food Chem., 1994, 49, p. 257-260.
47. OYEDOYIN, B. O.; ADENIYI, A. A.; ILORI, M. O. "The Policy on Local Raw Material Substitution in the Food and Beverage Industry in Southwestern Nigeria". Journal of Industrial Research and Technology, 2008, 2, Vol. 1, p. 73-86.
48. PALMER, G. H.; ETOKAKPAN, O. U.; IGYOR, M. A. "Review: sorghum as brewing material". MIRCEN J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 1989, 5, p. 265-275.
49. TAYLOR, J. R. N. "Mashing with malted grain sorghum". J. Am. Soc. Brew. Chem., 1992, 50, p. 13-18.
50. TAYLOR, J. R. N.; BOYD, H. K. "Free a-amino nitrogen production in sorghum beer mashing". Journal of the Science of Food and Agriculture, 1986, 37, p. 1109-1117.
51. TAYLOR, J. R. N.; DEWAR, J. "Role of alpha-glucosidase in the fermentable sugar composition of sorghum malt mashes". J. Inst. Brew., 1994, 100, p. 417-419.

52. TAYLOR, J. R. N.; SCHOBBER, T. J.; BEAN, S. R. "Novel food and non-food uses for sorghum and millets". *Journal of Cereal Science*, 2006, 44, p. 252-271.
53. VAN-DER-WALT, J. P. "Kaffircorn malting and brewing studies: studies on the microbiology of kaffirbeer". *J. Sci. Food Agric.*, 1956, 7, p. 105-113.
54. WAITES, M. J.; MORGAN, N. L.; ROCKEY, J. S.; HIGTON, G. *Industrial microbiology: an introduction*, London: Blackwell Science, 2001.

Recibido: Mayo 2014

Aceptado: Septiembre 2014

MSc. Yanet Boffill-Rodríguez. Departamento de Ingeniería Química, Facultad Química-Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu", Las Villas, Santa Clara, Cuba. yanetb@uclv.edu.cu