

Revisión Breve: Relevancia de la disponibilidad de azufre y removilización de asimilados sobre la calidad de la cebada cervecera

Cintia G. Veliz*, Irma N. Roberts, M. Victoria Criado, Mariela Echeverria, Carla Caputo

*Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales (INBA)-CONICET/FAUBA.
Buenos Aires. Argentina*

cgveliz@agro.uba.ar

Resumen

En la industria cervecera la calidad de los granos de cebada para su comercialización está determinada principalmente por el contenido proteico (relacionado con el contenido de nitrógeno) y el calibre (relacionado con el contenido de azúcares) de los mismos, sin embargo también depende del tipo de proteínas que contienen. En los cereales, la exportación de aminoácidos y azúcares desde los órganos vegetativos vía floema es una fuente importante de nitrógeno y carbono para los granos en desarrollo, adquiriendo mayor relevancia en suelos deficientes en nutrientes. Las deficiencias nutricionales que más comúnmente han afectado a los cultivos son las de nitrógeno y fósforo; sin embargo, en los últimos años se han comenzado a observar deficiencias de azufre en suelos de la región Pampeana, convirtiéndose así la fertilización azufrada en un nuevo foco de interés para los productores. En esta revisión breve hacemos hincapié en el modo en que la disponibilidad de azufre impacta sobre las características del grano y, consecuentemente, sobre la calidad maltera. A su vez, se discute el rol de la removilización sobre estos aspectos.

Palabras clave: calidad Maltera, cebada (*Hordeum vulgare* L.), nutrición azufrada, removilización vía floema.

Brief Review: Relevance of sulphur availability and assimilates remobilization on malting barley quality

Abstract

Barley grain quality for brewing purposes is determined by parameters such as grain protein content (determined as total nitrogen content) and size (mostly determined by starch content), however, it also depends on the grain protein type. In cereals, amino acid and sugar exportations from the vegetative organs are a major source of nitrogen and carbon for developing grains, becoming more important in nutrient-deficient soils. Nitrogen and phosphorus are the most common nutritional deficiencies affecting crops, but more recently, sulphur deficiencies have also been observed in soils of the

Pampas region, which makes sulphur fertilization a new point of interest for the producers. In this brief review we emphasize on how the sulphur availability influences grain characteristics and consequently on malting quality. In turn, the role of remobilization on these aspects is discussed.

Keywords: barley (*Hordeum vulgare* L.), malting quality, phloem remobilization, sulphur nutrition.

Azufre y calidad de los granos en cebada

En la región Pampeana, la histórica falta de reposición de los nutrientes exportados con las cosechas y la erosión condujeron a una disminución en la disponibilidad de nitrógeno (N), fósforo y azufre (S) en los suelos. En el caso particular del S, si bien estas bajas no se pueden establecer por un método de diagnóstico preciso como en los otros nutrientes, sí se ha observado en los últimos años deficiencias de S en cultivos de soja y trigo [1], [2], [3], lo cual genera un creciente interés en el estudio de las respuestas de la nutrición azufrada en la fisiología de los distintos cultivos.

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa el cuarto lugar en importancia entre los cereales a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz [4], [5] y su grano no sólo se utiliza ampliamente para alimentación tanto humana como animal, sino que también es el más utilizado para el malteado y la elaboración de cerveza [5], [6], [7]. Particularmente en Argentina, el cultivo de cebada cervecera se ha incrementado notoriamente en los últimos años, debido a la menor duración del ciclo de este cultivo en comparación con otros cereales invernales [8], [9] y a su vez a causa de una creciente demanda nacional e internacional de malta para la industria cervecera [10].

Para la fabricación de cerveza, los granos de cebada son sometidos al proceso de malteado, que consiste en la germinación bajo condiciones estrictamente controladas. Durante este proceso se sintetizan e inducen las enzimas hidrolíticas necesarias para convertir los componentes de alto peso molecular del grano (azúcares y proteínas de reserva) en biopolímeros más pequeños y monómeros que luego serán requeridos por las levaduras en la última etapa de la fabricación de cerveza (la fermentación) para producir alcohol [6], [11].

Dado que las determinaciones de calidad de malta son costosas y lentas, en la comercialización se utilizan ciertas características del grano de cebada que se correlacionan con la calidad maltera. Estas características son principalmente el contenido total de N, como indicador del contenido proteico, y el calibre (tamaño) de los granos relacionado con el contenido de almidón de los mismos. La industria maltera y cervecera requieren valores de proteínas entre 10 y 12% ya que valores excesivamente bajos limitan el crecimiento de las levaduras encargadas de la fermentación durante el proceso de producción de cerveza, mientras que contenidos proteicos excesivamente altos disminuyen el rendimiento de la malta en la cervecería y generan problemas de turbidez en la cerveza [12], [13], [14].

Sin embargo, la calidad de los granos no sólo depende de la concentración proteica total sino también del tipo de proteínas que contienen los mismos. De este modo, se ha postulado que variaciones en la

proporción de las diferentes subunidades de hordeínas (principales proteínas de reserva del grano de cebada) afectan la calidad del extracto de malta [15], [16], [17], [18], [19], ya que éstas son componentes principales de la matriz proteica del endosperma en donde los gránulos de almidón se encuentran embebidos, encontrándose así restringidos para su acceso por parte de las enzimas amilolíticas para su posterior hidrólisis durante la maceración [20].

Dentro de las hordeínas pueden reconocerse diferentes grupos o fracciones. Dichas fracciones se caracterizan por poseer diferente contenido de S: las fracciones B, D y γ son ricas en S mientras que la fracción C es pobre en este elemento, siendo las hordeínas B las que están presentes de manera mayoritaria [21]. De esta forma, no resulta sorprendente que variaciones en la disponibilidad de S repercutan sobre el contenido final de cada fracción en los granos y, por lo tanto, sobre la calidad industrial del extracto de malta [22], [23], [24].

En varios trabajos se ha observado que la fracciones de hordeínas que se encuentran negativamente correlacionadas con el extracto de malta son las B y D [15], [16], [17], [18], [19], [25], [26], [27]. Esto podría explicarse por las estrechas asociaciones que se forman entre el almidón y estas hordeínas a través de puentes disulfuro dando lugar a agregados coloidales que, consecuentemente, inhibirían la hidrólisis del almidón disminuyendo así su posterior disponibilidad para las enzimas amilolíticas durante la fabricación de cerveza [20], [27], [28].

Removilización de nutrientes vía floema y su relación con la calidad del grano

Una importante proporción de los nutrientes que finalmente se acumulan en el grano se derivan de los nutrientes previamente absorbidos y asimilados por la planta durante la etapa de crecimiento vegetativo. De este modo, la removilización de los aminoácidos y azúcares desde las hojas desarrolladas y demás tejidos vegetativos durante la senescencia de la planta constituye una fuente importante de N y carbono para los granos en desarrollo. Particularmente, en condiciones de baja disponibilidad de nutrientes en el suelo, la eficiencia del proceso de removilización vía floema se vuelve un factor clave en la determinación del contenido proteico de los granos y, en consecuencia, de su calidad final. La importancia de comprender el mecanismo de la removilización de nutrientes y su regulación radica en la posibilidad de mejorar la calidad de los granos a través del control de la eficiencia de la removilización, lo que podría permitir disminuir el uso de fertilizantes promoviendo una agricultura sustentable.

De manera contrastante, se sabe que la deficiencia de N promueve el proceso de removilización de aminoácidos a causa de una aceleración del proceso de senescencia foliar [29] mientras que la deficiencia de S tiene el efecto contrario, inhibiendo la removilización de metabolitos vía floema [30].

En cuanto a la relación entre la removilización de nutrientes y el establecimiento de las hordeínas en el grano de cebada, se ha encontrado una correlación entre la removilización de azúcares y la expresión de los genes de las hordeínas B [30]. Dado que los azúcares tienen un rol importante como moléculas señal y como reguladores en la expresión génica [31] podría conjeturarse que los azúcares del floema estarían “notificando” a los granos sobre la disponibilidad de nutrientes mediante un

censado del estado nutricional de toda la planta y por ende tendrían una repercusión sobre la regulación de la expresión de los genes de las hordeínas B, lo que consecuentemente afectaría a la calidad final de los granos de cebada según lo mencionado anteriormente.

Consideraciones finales

Hasta hace apenas un par de décadas atrás la disponibilidad de S en los suelos no era un tema de mayor importancia, sin embargo, las deficiencias de este nutriente se han convertido en una limitante importante de la producción agrícola en diversas regiones del mundo. A su vez, la disponibilidad de este nutriente no solamente repercute en el rendimiento del cultivo sino también en la calidad del grano de cebada, ya que tiene un rol determinante en el establecimiento del tipo de hordeínas. Por ello se vuelve esencial estudiar las respuestas de la nutrición azufrada en la fisiología del cultivo, particularmente en la removilización de asimilados, a fin de lograr una buena calidad de los granos a través de una agricultura sustentable.

Referencias

1. **Gutiérrez Boem FH, Prystupa P, Ferraris G** (2007) Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops *Journal of Plant Nutrition* 30: 93-104.
2. **Salvagiotti F, Miralles DJ** (2008) Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat *European Journal of Agronomy* 28: 282-290.
3. **Salvagiotti F, Ferraris G, Quiroga A, Barraco M, Vivas H, Prystupa P, Echeverría H, Gutiérrez Boem FH** (2012) Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds *Field Crops Research* 135: 107-115.
4. **Ministerio de Agroindustria de la Nación Argentina** (2015) Newsletter nro 81 http://www.minagri.gob.ar/dimeagro/newsletters/nro81/nl_cebada.php
5. **Guo B, Luan H, Lin S, Lv C, Zhang X, Xu R** (2016) Comparative Proteomic Analysis of Two Barley Cultivars (*Hordeum vulgare* L.) with Contrasting Grain Protein Content. *Frontiers in Plant Science*. 7: 542. doi: 10.3389/fpls.2016.00542
6. **Lapitan NLV, et al** (2009) Differentially expressed genes during malting and correlation with malting quality phenotypes in barley (*Hordeum vulgare* L.) *Theoretical and Applied Genetics* 118: 937-952.
7. **Colgrave ML, Goswami H, Howitt CA, Tanner G** (2011) What is in a Beer? Proteomic Characterization and Relative Quantification of Hordein (Gluten) in Beer *Journal of proteome research* 11: 386–396. [dx.doi.org/10.1021/pr2008434](https://doi.org/10.1021/pr2008434)
8. **Marinissen A, Lauric A, Torres Carbonell C** (2009) Hoja informativa de cebada cervecera julio 2009 *Agencias de Extensión INTA Bahía Blanca y Coronel Rosales INTA EEA Bordenave*.
9. **Giménez F, Tomaso JC** (2008) Evaluación de cultivares de cebada cervecera en Balcarce *Revista Visión Rural* Mejoramiento Genético de Cebada Cervecera INTA EEA Bordenave.
10. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO** (2009). Agribusiness handbook, Barley Malt Beer.
11. **Jones BL**. (2005). Endoproteases of barley and malt. *Journal of Cereal Science* 42:139-156.

12. **Bishop LR.** (1930). The Institute of Brewing Research Scheme. I. The prediction of extract. *Journal of the Institute of Brewing.* 36: 421-434.
13. **García del Moral LF, Sopena A, Montoya JL, Polo P, Voltas J, Codesal P, Ramos JM, Molina-Cano JL.** (1998). Image Analysis of Grain and Chemical Composition of the Barley Plant as Predictors of Malting Quality in Mediterranean Environments *Cereal Chemistry Journal* 75: 755-761.
14. **Briggs DE, Boulton CA, Brookes PA, Stevens R** (2004) Brewing, Science and practice *Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England and CRC Press LLC, Boca Raton, USA.*
15. **Howard KA, Gayler KR, Eagles HA, Halloran GM** (1996) The Relationship Between D Hordein and Malting Quality in Barley *Journal of Cereal Science.* 24: 47-53.
16. **Molina-Cano JL, Polo JP, Sopena A, Voltas J, Pérez-Vendrell AM, Romagosa I** (2000) Mechanisms of malt extract development in barleys from different european regions: II. Effect of barley hordein fractions on malt extract yield *Journal of the Institute of Brewing* 106: 117–123.
17. **Molina-Cano JL, Romera E, Aikasalo R, Pérez-Vendrell AM, Larsen J, Rubió A** (2002) A Reappraisal of the Differences Between Scandinavian and Spanish Barleys: Effect of α -Glucan Content and Degradation on Malt Extract Yield in the cv *Scarlett*. *Journal of the Institute of Brewing* 108: 221-226.
18. **Peltonen J, Rita H, Aikasalo R, Home S** (1994) Hordein and malting quality in northern barleys *Hereditas* 120: 231–239.
19. **Simic G, Sudar R, Lalic A, Jurkovic Z, Horvat D, Babic D.** (2007). Relationship Between Hordein Proteins and Malt Quality in Barley Cultivars Grown in Croatia. *Cereal Research Communications* 35: 1487-1496.
20. **Slack PT, Baxter ED, Wainwright T** (1979) Inhibition by hordein of starch degradation. *Journal of the Institute of Brewing* 85: 112-114.
21. **Shewry PR, Tatham AS** (1990) The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution. *Biochemical Journal* 267: 1-12.
22. **Shewry PR, Franklin J, Parmar S, Smith SJ, Mifflin BJ.** (1983). The Effects of Sulphur Starvation on the Amino Acid and Protein Compositions of Barley Grain *Journal of Cereal Science* 1: 21-31.
23. **Holopainen URM, Rajala A, Jauhiainen L, Wilhelmson A, Home A, Kauppila R, Peltonen-Sainio P** (2015) Influence of sulphur application on hordein composition and malting quality of barley (*Hordeum vulgare L.*) in northern European growing conditions *Journal of Cereal Science* 62: 151-158.
24. **Dostálová Y, Hřivná L, Kotková B, Burešová I, Janečková M, Šottníková V.** (2015). Effect of nitrogen and sulphur fertilization on the quality of barley protein. *Plant, Soil and Environment* 9: 399-404.
25. **Baxter ED, Wainwright T** (1979) Hordein and malting quality. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 37, 8-12.
26. **Qi J-c, Chen J-x, Wang J-m, Wu F-b, Cao L-p, Zhang G-p** (2005) Protein and hordein fraction content in barley seeds as affected by sowing date and their relations to malting quality. *Journal of Zhejiang University SCIENCE* 11: 1069-1075.
27. **Smith DB, Lister PR** (1983) Gel forming proteins in barley grain and their relationship with malting quality. *Journal of Cereal Science* 1: 229-239.
28. **Baxter ED** (1981) Hordein in barley and malt-A review. *Journal of the Institute of Brewing* 87: 173-176.
29. **Caputo C, Criado MV, Roberts IN, Gelso MA, Barneix AJ.** (2009). Regulation of glutamine synthetase 1 and amino acids transport in the phloem of young wheat plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 335–342.
30. **Veliz CG, Criado MV, Roberts IN, Echeverria M, Prystupa P, Prieto P, Gutierrez Boem FH, Caputo C** (2014) Phloem sugars and amino acids as potential regulators of hordein expression in field grown malting barley (*Hordeum vulgare L.*). *Journal of Cereal Science* 60:433-439.
31. **Eveland AL, Jackson DP** (2012) Sugars signalling and plant development. *Journal of Experimental Botany* 63: 3367-3377.



ISSN 1666-7948

www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar

*Revista **QuímicaViva***

Número 2, Año 15, Agosto 2016

quimicaviva@qb.fcen.uba.ar