El mejoramiento de cultivos como estrategia para mejorar el aporte de micronutrientes esenciales.

Ing. Agr. MSc Erika Mroginski

-INTA-EEA Pergamino - Mejoramiento de maíz y Biotecnología.

-Coordinadora de módulo "Bases para la Tolerancia a Estrés Abiótico", correspondiente al Proyecto INTA PNCYO-1127042 "Bases Ecofisiológicas para el Mejoramiento Genético y la Calidad Diferenciada de Cereales y Oleaginosas" mayo/2013.

-Jefe de Trabajos Prácticos (ordinario) en Genética Cuantitativa, Área de Genética Superior, Departamento de Ciencias Básicas y Experimentales, UNNOBA. Resolución (CS) 474/2012. 6/12/2012 al 6/12/2017.

En América Latina y el Caribe se estima que alrededor del 7,9% de la población, unos 47 millones de personas, padecen hambre. A nivel mundial existen 842 millones de personas subalimentadas, es decir que no cubren sus requerimientos de energía diarios. Tanto a nivel global como a nivel regional se están haciendo avances para reducir la prevalencia de la subalimentación. El número total de personas subalimentadas ha disminuido en un 17% desde el trienio 1990 - 1992, en América Latina se ha producido una reducción aún mayor (28,4%) durante el mismo período. El total mundial de personas afectadas por deficiencias en micronutrientes es aún mayor y probablemente excedan los dos billones. Una de cada tres personas en el mundo sufre "hambre oculto", causado por una deficiencia de minerales y vitaminas en sus dietas, lo que lleva a consecuencias negativas en su salud, las cuales generalmente pasan inadvertidas en la población dado sus efectos insidiosos sobre el funcionamiento del sistema inmunológico, el crecimiento y el desarrollo cognitivo y en el rendimiento escolar y laboral. Asimismo, cerca de dos tercios del total de la mortalidad infantil está asociado con deficiencias nutricionales, muchas de ellas en micronutrientes.

La agricultura moderna ha realizado grandes avances para satisfacer las necesidades energéticas de las poblaciones pobres en países en desarrollo. En los últimos 40 años, el mejoramiento vegetal y las investigaciones agronómicas han puesto énfasis en lograr un aumento en la producción de los cereales. Sin embargo, recientemente ha habido un cambio: la agricultura no solo debe producir más calorías para reducir el hambre, sino que también debe producir alimentos ricos en nutrientes para reducir el "hambre oculto".

A través de los tiempos, muchas plantas de la familia de las gramíneas, los cereales de grano, se han cultivado por sus semillas comestibles. Los cereales que forman una parte importante de la dieta incluyen el maíz, trigo, arroz, sorgo, mijo, cebada, avena, quínoa y triticale. Aunque la forma y el tamaño de las semillas pueden ser diferentes, todos los granos de cereales tienen una estructura y valor nutritivo similar; 100 g de grano entero suministran aproximadamente 350 Kcal., de 8 a 12 g de proteína y cantidades útiles de calcio, hierro y las vitaminas B. En su estado seco, los granos de cereales carecen completamente de vitamina C y excepto en el caso del maíz amarillo, no contienen caroteno (provitamina A). Para obtener una dieta balanceada, los cereales deben suplementarse con alimentos ricos en proteína, minerales y vitaminas A y C

Entre las principales estrategias para solucionar la deficiencia de micronutrientes en las dietas se encuentran la suplementación con productos farmacéuticos, la diversificación de la dieta, la fortificación de alimentos procesados y la biofortificación. La biofortificación es el proceso por el cual se obtienen cultivos alimenticios con mayor contenido de elementos necesarios para la nutrición (minerales y vitaminas) en sus partes comestibles (semillas, raíces, frutos), proveyendo a la población con alimentos que naturalmente reducen los problemas en salud. Los enfoques de suplementación y de fortificación son limitados en el sentido de que a veces no cumplen con las necesidades de las poblaciones marginadas y demandan esfuerzos y gastos constantes para poderlos sostener; y por lo general, tratan los síntomas de la desnutrición por micronutrientes pero no abordan las causas del problema. La biofortificación puede realizarse ya sea a través de

prácticas agronómicas, como la diversificación de cultivos, fertilización y/o aumento de la solubilidad y movilización del micronutriente en el suelo; del fitomejoramiento convencional o asistido mediante marcadores moleculares o mediante la transformación genética. La biofortificación genética presenta algunas ventajas tanto respecto de la biofortificación agronómica como de otras formas de resolver el problema de las deficiencias nutricionales, ya que permite lograr cultivos más eficientes, reduce costos, puede alcanzar un porcentaje más alto de productores, tienen menor impacto ambiental, y en muchos casos no requiere cambios importantes en los hábitos alimentarios.

El enfoque de biofortificación genética de cultivos, parte de la base de tener unos costos fijos, una sola vez para desarrollar metodologías de mejoramiento, incorporar rasgos de calidad nutricional en variedades cultivadas comercialmente y adaptar esas variedades a diferentes ambientes. Esto hace que este enfoque sea atractivo en términos económicos en comparación con los programas de suplementación y fortificación, puesto que no se requieren grandes inversiones a intervalos regulares durante el tiempo que dure el programa y los costos no aumentan con el número de personas beneficiadas. Asimismo los alimentos provenientes de cultivos biofortificados, en contraposición con los fortificados pueden alcanzar a poblaciones marginadas y rurales.

Para que la biofortificación sea exitosa es importante que el fitomejorador tenga en cuenta ciertos criterios en la obtención de cultivares enriquecidos en micronutrientes: i) el cultivo biofortificado debe ser de alto rendimiento y proveer beneficios al agricultor, ii) evidenciar eficacia y efectividad en la reducción de la deficiencia de micronutrientes en humanos, iii) mostrar comportamiento estable a través de varios ambiente edáficos y zonas climáticas; iv) asegurar la bio-disponibilidad de los micronutrientes en humanos, luego del procesamiento y cocción; 5) obtener aceptación por parte de los consumidores; por ejemplo, si se lograra obtener un trigo con niveles mayores de carotenoides de provitamina A, resultaría en granos con pigmentación amarilla-naranja inusual, lo que podría implicar problemas en su aceptación por los consumidores.

Existen evidencias que las concentraciones de Fe y Zn en los granos de trigo y maíz son caracteres cuantitativos, de baja heredabilidad y altos efectos ambientales y de interacción genotipo x ambiente.Numerosos genes pueden estar involucrados en el control de la absorción de los micronutrientes por las raíces de las plantas, translocación de los mismos a través de los tallos, re-movilización desde las partes vegetativas y deposición en las partes comestibles de semillas en formas utilizables por las personas. Además los factores ambientales y prácticas agronómicas pueden interactuar con la expresión de los genes de las plantas e influenciar el monto de micronutrientes acumulado en el grano. Cuando se trata de aumentar los niveles de Fe y Zn en el grano se debe también tener en cuenta que la concentración de micronutrientes en los tejidos del vegetal tiene una enorme dependencia de las condiciones ambientales, en especial de la composición de suelo. Por lo tanto el mejoramiento de la absorción o movilización de estos a los granos se ve limitado por su disponibilidad en los suelos. Asimismo, varios factores de la dieta alimenticia pueden interactuar para determinar cuánto del micronutriente es absorbido y asimilado por la persona (bio-disponibilidad).

El éxito en el mejoramiento de cultivos depende de la existencia de variabilidad genética para el carácter en el germoplasma disponible. A nivel mundial existen esfuerzos cooperativos entre instituciones (CGIAR, IRRI, CIAT, CIMMYT, IITA) para lograr cultivos de mijo perla, maíz, poroto común, arroz y trigo genéticamente biofortificados. Para ello se trata de identificar y caracterizar fuentes de variabilidad que permitan elevar la concentración de Fe, Zn, beta caroteno y proteína de mayor calidad; investigar la estabilidad de estas características en un amplio rango de climas, suelos y sistemas de producción, y determinar las características productivas de estos cultivos.

El grano de trigo contiene muy bajos niveles de carotenoides de provitamina-A. EL principal carotenoide en *Triticum durum* es la luteína, seguida de la zeazantina, los cuales no muestran actividad de provitamina A. Por otro lado, existe suficiente variabilidad genética para desarrollar variedades de trigo con niveles aumentados de Fe y Zn el grano. Se encontró gran variación en las concentraciones de Fe y Zn de parientes silvestres, cultivares primitivos, trigo pan, trigo duro y triticale, como así también en especies pertenecientes al *pool* genético secundario del trigo. En México encontraron valores de micronutrientes en el grano del trigo hexaploide, *Triticum dicoccon* y

cultivares de la región que varió de 25 a 56 ug/g para Fe y de 25 a 65 ug/g para Zn. Fuentes prometedoras para la obtención de altos niveles de Fe y Zn en el grano de trigo son *Triticum dicoccoides, Aegilops tauschii, T.monococum y T. boeticum*. Algunos de estos genotipos mostraron valores de 142 ug/g de Zn.

En el caso del maíz, todos los cultivares con granos amarillos poseen carotenoides, pero la fracción con actividad de provitamina A (β-criptoxantina, α- y β-caroteno, que pueden ser convertidos en vitamina A) es generalmente muy pequeña (10-20%), comparada con zeaxantina y luteína (30-50% del total de carotenoides cada una). Se encontró considerable variación natural para la concentración total de provitamina A (0–15 mg/g), como así también en los valores de ratios entre los distintos carotenoides. En cuanto al nivel de Fe en los granos del maíz, la variabilidad encontrada fue reducida, siendo moderada para la concentración de Zn. En el CIMMYT, en general encontraron valores promedios de Fe en grano de 20±5 ug/g, mientras que los valores de Zn se encontraron entre en 15–35 ug/g.

Para aumentar el nivel de micronutrientes disponibles en la dieta humana, el mejoramiento genético puede aplicar, solas o en forma combinadas, una de las siguientes estrategias: i) aumento de la absorción de micronutrientes del suelo; ii) aumento de la deposición de micronutrientes en el grano; iii) aumento del secuestro de minerales en el endosperma en contraposición con la capa de aleurona y iv) reducción de factores antinutrientes en el grano; v) aumento de promotores de la biodisponbilidad de micronutrientes en el grano.

i) Aumento de la absorción y/o translocación de micronutrientes del suelo: En condiciones limitantes de disponibilidad de nutrientes en el suelo, los cereales secretan compuestos quelantes de metales (Fitosideroforos, PS) en la rizósfera. El complejo PS-metal es tomado por el transportador YS1 (*Yellow Stripe 1*) que es una proteína integral de membrana. Al aumentar la síntesis de estos Fitosideroforos y/o la expresión de YS1 se podría incrementar la absorción de metales del suelo. En el germoplasma silvestre de trigo, se ha encontrado variación genética en la cantidad de Fitosideroforos liberados al suelo. Así por ejemplo podemos mencionar al ancestro silvestre de los trigos cultivados, *Aegilops tauschii* que poseen concentraciones elevadas concentraciones de Fe, Zn, Cu y Magnesio. Ha sido posible desarrollar trigos sintéticos con alta concentración de estos minerales a partir del cruzamientos entre trigo candeal o trigo pan con *Aegilops tauschii*. En el caso de cebada ha sido posible aumentar la concentración de Fe y Zn en grano mediante la incorporación de genes de otras especies que sobre-expresan la síntesis y exudación de compuestos a la rizósfera que promueven la absorción de nutrientes. La misma estrategia aplicada en arroz aumentó la absorción de esos nutrientes, pero fracasó en aumentar su concentración en el grano.

La biotecnología sirve para complementar y mejorar la eficiencia del mejoramiento convencional de diferentes maneras. La técnica de transformación genética ha permitido incorporar genes provenientes de otras especies. Una de las aplicaciones posibles es el incremento del nivel de Fe y Zn en el grano mediante la incorporación del gen de ferritina o lactoferrina. Por otro lado, mediante el mapeo de QTL se han detectado regiones asociadas a la concentración de Fe y Zn en granos en los cromosomas 2 y 7 de distintas poblaciones de trigo y parientes silvestres.

Un ejemplo del uso de antecesores silvestres de trigo y su utilidad como fuente de variabilidad para incrementar el contenido de Fe, Zn, y Mn es el cruzamiento de Trigo cultivado con *Triticum dicoccoides*. Mediante estudios moleculares aplicados en líneas de sustitución cromosómica pudo detectarse el efecto de un gen ubicado en el cromosoma 6B de la especie silvestre. Ese gen denominado Gpc-B1 está relacionado con la removilización de nutrientes y senescencia temprana y no sólo fue efectivo para aumentar la concentración de esos microelementos en el grano, sino también en aumentar el contenido de proteína. Sin embargo la utilidad práctica de este gen depende de su efecto sobre el rendimiento de grano, inversamente correlacionada con fenómenos de senescencia temprana.

ii) Aumento de la deposición de micronutrientes en el grano: poco se conoce sobre transportadores que faciliten la distribución de metales en los tejidos del grano. Se ha propuesto manipular la expresión de genes que regulan los transportadores CAX (*Cation Exchanger*) como una posible estrategia para aumentar la concentración de Zn en los tejidos comestibles del grano.

iv) Reducción de factores antinutrientes en el grano: Para lograr una disponibilidad efectiva de micronutrientes a partir de los granos de cereales se debe tener en cuenta la existencia de factores que dificultan la absorción de nutrientes por parte del intestino delgado, como ser ácido fítico, taninos, lignanos, etc presentes en el cereal. El ácido fítico es una forma primaria de almacenaje del fósforo en semillas maduras y granos, juega un importante papel en la determinación de las reservas de las semillas y de esta manera contribuye a la viabilidad y al vigor de las plántulas producidas. El ácido fítico forma un complejo estable con los metales, no encontrándose enzimas capaces de degradarlo en el intestino humano. De esta forma solo el 5% de Fe y el 25% de Zn presentes los cereales se encuentra biodisponible. Se ha reportado variación significativa en la concentración de fitatos en los granos de trigo, arroz, sorgo, cebada, triticale, entre otros. Por otro lado, existen mutantes (*Ipa*) de maíz, trigo, cebada y arroz con bajo contenido de ácido fítico.

v) Aumento de promotores de la biodisponbilidad de micronutrientes en el grano: Existen compuestos como ácido ascórbico, β-caroteno e inulina que mejoran la absorción y utilización de nutrientes por el ser humano. Se encontró variación genética para inulina en maíz, trigo y cebada. Mediante la transformación genética se realizaron varios intentos de aumentar los niveles de promotores. Se lograron plantas de maíz con un aumento de 2-4 veces la concentración de ácido ascórbico mediante la sobreexpresión de la dehidroascorbato reductasa. Otro ejemplo de transgénesis se dio en maíz, en el cual mediante la sobreexpresión de genes bacterianos *crtB* y *crtI*, bajo el control del promotor específico de endosperma "*super gama zein promotor*", se logró un incremento de 34 veces del contenido de β-caroteno.

Bibliografía

- Anuario estadístico de la FAO 2014, La Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe.
- Bänziger, M. & Long, J. (2000). The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant breeding. Food and Nutrition Bulletin 21, 397–400.
- Brinch-Pedersen, H.; Borg, S.; Tauris, B. & Holm, P.B. (2007) Molecular genetic approaches to increasing mineral availability and vitamin content of cereals. Journal of Cereal Science 46: 308–326.
- Caballero, B. (2002). Global patterns of child health: the role of nutrition. Annuals of Nutrition and Metabolism 46, 3-7.
- Graham, R.D., Welch, R.M. & Bouis, H.E. (2001) Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. Adv. Agron. 2001. 70:77–142.
- Graham, R.D., Welch, R.M. ; Saunders, D.A.; Monasterio, I. ; Bouis, H.E.; Bonierbale, M.; de Hann, S.; Burgos, G.; Thiele, G.; Liria, R.; Meisner, C.A;. Beebe, S.E.; Potts, M.J.; Kadiajn, M.; Hobbs, P.R.; Gupta, R.K. & Twomlow. S. (2007) Nutritious subsistence food systems. Adv. Agron. 92:1–74.
- Hotz, C.; McClafferty, B.; Hawkes, C.; Ruel, M. & Babu, S. (2007) From harvest to health: Challenges for developing biofortified staple foods and determining their impact on micronutrient status. Food Nutr. Bull. 28: 271-279.
- Leenhardt, F., Lyan, B., Rock, Boussard, A., Potus, J., Chanliaud, E., Remesy, C. (2006) Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. European Journal of Agronomy 25, 170–176.
- Long, J.K.; Bänziger, M. & Smith, M.E. (2004) Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. Crop Science 44, 2019–2026.
- Ortiz-Monasterio, J.I., Palacios-Rojas, N.; Meng, E.; Pixley, K.; Trethowan, R. & Pena, R.J. (2007) Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. J. Cereal Sci. 46:293–307.
- Welch, R.M. & Graham, R.D. (2004) Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J. Exp. Bot. 55:353–364.