

La dosificación del fertilizante en la mejora de la calidad del trigo

texto Teresa Fuertes de Mendizábal ¹, M^a Arritokieta Ortúzar ², Ana Aizpurua ²,
Ander Castellón ², M^a Begoña González-Moro ¹ y José M^a Estavillo ¹.

¹ Dpto. Biología Vegetal y Ecología, UPV-EHU · ² Neiker -Tecnalia.

fotografías Mikel Arrazola





En la actualidad, el cultivo de trigo se encuentra extendido a lo largo y ancho de todo el globo gracias a la enorme importancia que tiene, junto con el arroz y el maíz, en la alimentación humana y animal, si bien la producción puede ser muy variable en función de la variedad, los aportes de fertilizante, la sofisticación agraria y las condiciones edafoclimáticas. En Álava, el trigo de invierno ocupa una extensión de unas 24000 ha, lo que equivale al 52% de la superficie total dedicada a cultivos extensivos en todo el País Vasco, y al 1,73% de la superficie destinada al cultivo de trigo en España. A pesar de que supone un área cultivada muy pequeña frente a las grandes superficies dedicadas en Andalucía, Castilla y León o Castilla La Mancha, se trata del área más productiva de todo el país, superando las 5 t ha⁻¹, frente a las 2,94 t ha⁻¹ de media estatal. Las características del clima mediterráneo húmedo y la aplicación de fertilizantes nitrogenados inorgánicos son los responsables directos de tan alto rendimiento.

La fertilización nitrogenada

La producción de grano por unidad de área se ha duplicado durante la última mitad del siglo XX debido a la indudable mejora de determinadas prácticas agrarias como es el uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos. Sin embargo, el uso de este tipo de fertilizantes con el fin de aumentar la producción conlleva un riesgo para el medio ambiente, ya que sólo el 50% del N inorgánico aplicado es incorporado a N orgánico por las plantas. El resto del nitrógeno es susceptible de ser inmovilizado por las arcillas y los organismos del suelo, o de perderse, bien por lixiviación o bien en forma gaseosa por volatilización de amoníaco y por los procesos de nitrificación y desnitrificación. Ambos tipos de pérdidas de N del sistema suelo-planta tienen implicaciones medioambientales, ya que suponen una fuente potencial de contaminación, tanto de la atmósfera como de las aguas subterráneas. De hecho, en el protocolo de Kioto y en la Directiva 91/676 CE de la UE se contempla la mayor eficiencia

en el uso de fertilizantes nitrogenados y la mejora del manejo de los cultivos.

En este contexto, los agricultores se ven obligados a combinar varios objetivos: obtener el máximo rendimiento, limitar los costes de producción para obtener el máximo beneficio, limitar el impacto negativo del cultivo en el medio ambiente y obtener un producto con las características de calidad demandadas por el mercado, todo ello teniendo en cuenta el considerable aumento registrado en el precio de los fertilizantes debido a un incremento de la demanda. En el caso del trigo panadero la calidad harino-panadera está marcada por unos requerimientos específicos en términos de contenido de proteína en grano. Sin embargo, la determinación precisa de la cantidad óptima de fertilizante nitrogenado que se debe aplicar al cultivo no es fácil, porque los requerimientos de fertilizante están influenciados por la demanda de N del cultivo, las prácticas agrarias previas, y la cantidad de N mineralizado en el suelo en el momento de aplicación y durante la estación de crecimiento.

En busca de la dosis adecuada

El manejo del fertilizante nitrogenado ofrece la oportunidad de incrementar el rendimiento de cualquier cultivo ya que el nitrógeno es elemento clave fundamental en todos los procesos que van a tener un efecto significativo en el crecimiento, entre los cuales se incluyen la toma y asimilación de nutrientes, la fotosíntesis y la respiración, el reparto de carbono, la senescencia de los órganos vegetativos y la translocación de nutrientes al grano. El rendimiento del cultivo es, por tanto, función e integración de todos estos procesos y en el caso del trigo viene prácticamente determinado por la deposición de almidón en el endospermo, ya que éste es el componente mayoritario del grano.

Una fertilización nitrogenada racional implica no sólo la aplicación de una dosis adecuada, sino un reparto de la misma que esté en consonancia con las necesidades del cultivo a lo largo



de su ciclo de desarrollo. Mediante un ensayo en campo, establecido en la localidad alavesa de Gauna por Neiker-Tecnalia, se ha analizado la respuesta del trigo harinero de la variedad Soissons al manejo del fertilizante, aplicando para ello dosis crecientes de fertilizante nitrogenado inorgánico de 0, 100, 140 y 180 kg N ha⁻¹. Las dosis de 140 y 180 kg N ha⁻¹ se aplicaron bien fraccionadas en dos aportes en los momentos de inicio del ahijado e inicio del encañado, como se realiza habitualmente en campo, o bien fraccionadas en tres aportes, lo que suponía la aplicación de un tercer aporte tardío en el momento de "hoja bandera" (Tabla 1). Bajo las condiciones del clima mediterráneo húmedo de Álava es posible esta aplicación tardía de nitrógeno ya que, al contrario que en otras zonas de España, la lluvia permite normalmente a las plantas incorporar el nitrógeno tardío de manera eficiente.

A lo largo del ciclo del cultivo se estudiaron los procesos fisiológicos implicados en la utilización eficiente del nitrógeno por parte de la planta, relacionándolos con los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento y calidad del cultivo. Se observó que las dosis de fertilizante nitrogenado aplicadas y su fraccionamiento produjeron un desarrollo similar de biomasa, es decir, las plantas ahijaban lo mismo y desarrollaban el mismo dosel foliar, por lo que su capacidad fotosintética para acumular almidón en el grano resultaba similar. Cuando se ajustó la produc-

ción de grano de los diferentes tratamientos al modelo cuadrático se observó que la dosis óptima para la máxima producción se situaba en 155 kg N ha⁻¹, si bien el fraccionamiento de una misma dosis en dos o tres aportes no producía diferencias en cuanto a producción. Sin embargo, la acumulación de proteína en el grano sí presentaba diferencias en función del manejo del fertilizante. Tanto el aumento de la dosis como el fraccionamiento de una misma dosis en tres aportes en lugar de en dos producían un incremento en el contenido proteico del grano. Este hecho cobra importancia si tenemos en cuenta que el contenido de proteína del grano es el parámetro más utilizado comercialmente para definir la calidad de un trigo harinero. Cuanto mayor es el contenido proteico, mejor es la calidad del trigo, y los cambios que se produzcan tanto en la concentración como en la composición de las proteínas van a afectar de forma significativa a la calidad el grano.

Calidad harino-panadera: menos fertilizante, pero mejor dosificado

La calidad del trigo harinero es un carácter altamente complejo que va a depender de factores tanto genéticos como ambientales. Dos factores determinantes de esta calidad son la cantidad total de proteína del grano, fuertemente influenciada por factores ambientales, y la composición cualitativa de esa pro-



teína, la cual viene determinada genéticamente así como por factores ambientales. Uno de los factores ambientales que más influencia ejercen es el régimen de fertilización nitrogenada.

Durante el proceso industrial de la molienda se separa la harina del resto de los componentes del grano. Una vez que la harina se mezcla con agua, las proteínas del grano se entrelazan de tal manera entre ellas que se forma una red proteica tridimensional denominada gluten. El gluten confiere plasticidad, fuerza y elasticidad a la masa, lo que significa que bajo presión es capaz de deformarse, de resistir esta deformación, y de recuperar su forma original cuando cesa la presión, respectivamente. Estas propiedades, denominadas reológicas, hacen posible que la harina forme una masa cohesiva que pueda expandirse en mayor o menor medida durante la panificación. Son realmente estas propiedades únicas del gluten las que hacen que el trigo tenga múltiples aplicaciones en la industria alimentaria y sea la fuente de alimento más extendida a nivel mundial a lo largo de la historia. En función de la calidad del trigo harinero se obtendrán masas más o menos aptas para el proceso de la panificación.

Los diferentes índices de calidad determinados mediante el alveograma de Chopin en las harinas obtenidas a partir del ensayo de campo mostraban que la fertilización nitrogenada

influyó de manera positiva en la calidad harino-panadera, dando lugar a la producción de harinas más fuertes, más extensibles y tenaces, y con mejor equilibrio (Figura 1). En este sentido, cuando la dosis de 140 kg N ha⁻¹ se fraccionaba en tres aportes se conseguían harinas igual de fuertes, extensibles y tenaces que las obtenidas aplicando 180 kg N ha⁻¹ pero repartidos en dos aportes. Asimismo, cuando la tasa de fertilizante era la misma pero se repartía en tres aportes en lugar de en dos, la mejora de la calidad también se reflejaba en un aumento de la fuerza y la extensibilidad de la harina. Por lo tanto, un mayor fraccionamiento de la dosis de N tenía un efecto beneficioso sobre la calidad del grano gracias a que no sólo producía un aumento del contenido proteico del mismo, sino que permitía una mejora significativa de las características reológicas, tanto si se aplicaba la misma cantidad de fertilizante fraccionada en tres aportes, como si se aplicaba una cantidad menor pero repartida en tres aportes.

El aumento en los parámetros de calidad de la harina se puede deber tanto a un aumento de la cantidad de proteína presente en el grano como a un cambio en la composición cualitativa de esa proteína. En la fracción proteica del grano de trigo se encuentran dos grandes grupos de proteínas: el grupo de proteínas metabólicas conformado por albúminas y globulinas, y el grupo de las proteínas de reserva, conformado por gliadinas y



gluteninas. Las proteínas metabólicas se localizan principalmente en el embrión y tienen gran importancia desde el punto de vista de las funciones biológicas de la semilla. Las proteínas de reserva se localizan en el endospermo y contribuyen de manera importante en las características reológicas de la masa. Así, las gliadinas hidratadas tienen poca elasticidad y son menos cohesivas que las gluteninas, por lo que contribuyen principalmente a la viscosidad y extensibilidad de la masa. Las gluteninas son responsables de la formación del gluten cuando se hidrata la harina debido a que forman enormes agregados proteicos de alto peso molecular, siendo por ello cohesivas y elásticas, y aportando fuerza y elasticidad a la masa.

Se comprobó que la cantidad de las proteínas metabólicas del grano se mantenía estable e independiente del manejo del fertilizante, por lo que el incremento observado en el contenido proteico del grano se debía a un aumento en el contenido de proteínas de reserva. Asimismo, los diferentes parámetros de calidad de la harina sugerían que cuando la dosis de nitrógeno se aplicaba en tres aportes las gluteninas alcanzaban un mayor grado de polimerización, es decir, que tenían más capacidad para formar agregados proteicos, dotando así a la harina de una mayor fuerza, y por lo tanto, de una mayor calidad.

Bases fisiológicas de la mejora de la calidad harino-panadera

Para poder comprender el comportamiento agronómico de un cultivo según el régimen de fertilización es necesario estudiar los procesos fisiológicos implicados en la acumulación y removilización del nitrógeno a lo largo del ciclo de desarrollo del mismo. Así, la estrategia nutricional de las plantas de trigo consiste en almacenar el N en forma de proteína soluble en las hojas, tallos y raíces durante la fase vegetativa del ciclo de crecimiento. Tras la floración, comienza el período de llenado del grano, durante el cual se desencadena la senescencia de los órganos vegetativos, y con ella la degradación de la proteína soluble y la removilización de nitrógeno hacia el grano. El inicio y regulación de la senescencia se ha relacionado con la existencia de determinadas señales, como son los niveles hormonales de la planta, en concreto los de las citoquininas. Estas hormonas están implicadas en el retraso de la senescencia y, según se pudo comprobar, el aumento de la dosis de fertilizante nitrogenado así como un mayor fraccionamiento permitían mantener una mayor concentración de citoquininas en los tejidos de la planta de trigo a lo largo del período de llenado del grano, produciendo así cierto retraso en la senescencia de las

Cuando la dosis de nitrógeno se aplicaba en tres aportes, las gluteninas alcanzaban un mayor grado de polimerización, es decir, que tenían más capacidad para formar agregados proteicos, dotando así a la harina de una mayor fuerza, y por lo tanto, de una mayor calidad.

partes vegetativas. Asimismo, se comprobó que tanto el aumento de la dosis de fertilizante como su fraccionamiento, inducían mayores niveles de expresión y de actividad de la enzima implicada en el reciclaje de N dentro de la planta: la glutamina sintetasa (GS1, Figura 2). El mantenimiento de esta actividad enzimática y el retraso de la senescencia en estadios avanzados de madurez posibilitan a las plantas una reasimilación más eficiente del N derivado de la degradación de las proteínas solubles acumuladas en las partes vegetativas, lo que quedaba reflejado en un aumento de la proteína en el grano. Todavía hoy no se conoce más que parcialmente cuáles son los genes que codifican las proteínas responsables de la removilización del N, C y elementos minerales durante la senescencia de las partes vegetativas, o cuáles son los procesos moleculares y bioquímicos que controlan la degradación de proteínas y los subsiguientes procesos fisiológicos responsables de la removilización del nitrógeno. De su conocimiento y regulación según las condiciones ambientales a lo largo del ciclo del cultivo, incluido el manejo del fertilizante, dependerá en gran medida la capacidad para incrementar la eficiencia en el uso del N por parte del cultivo, así como para minimizar el impacto ambiental derivado de sus pérdidas del sistema suelo-planta.

