

# La interrelación entre la riqueza de arvenses y la fertilización condicional la proteína del grano del trigo

María Eva Hernández-Plaza<sup>1</sup>✉, Francisco Barro<sup>1</sup>, Fernando Bastida<sup>2</sup>, Yesica Pallavicini<sup>1</sup>, Jordi Izquierdo<sup>3</sup>, Jose Luis González-Andújar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Finca Alameda del Obispo, Apto 4084, 14080- Córdoba

<sup>2</sup>Campus de la Rábida, Ctra. Huelva - Palos de la Frontera, s/n 21071 - Palos de la Frontera

<sup>3</sup>Dept. Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universidad Politècnica de Catalunya, Esteve Terradas, 8. 08860- Castelldefels

✉ evahernandezplaza@gmail.com

**Resumen:** Se analiza la relación entre el contenido en proteína de cultivos de trigo y la diversidad de las comunidades arvenses. Presentamos un modelo multivariante que incluye la interrelación entre la biomasa del cultivo y la de las arvenses, la diversidad de estas y la disponibilidad de nutrientes. El modelo propuesto se ajustó con datos obtenidos en un muestreo de 26 campos de trigo. Los resultados muestran que el modelo propuesto es adecuado para explicar el contenido en proteína. El aumento de fertilización produce la pérdida de especies y el incremento en la producción primaria del cultivo y de las arvenses. La riqueza afecta positivamente a la producción primaria de estas y del cultivo. El contenido en proteína se relaciona positivamente con la fertilización y la abundancia de arvenses, y negativamente, con la riqueza y el peso del grano.

**Palabras clave:** diversidad, peso del grano, modelos de ecuaciones estructurales.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vegetación arvense es un componente inherente a la propia agricultura y a los implicados en ella. Esta vegetación representa la mayor parte de la biodiversidad vegetal en los sistemas agrarios, y un gran número de las especies arvenses sirven como recurso (refugio, alimento, sitio de cría) para otros organismos, como aves, pequeños mamíferos e invertebrados (Kragten et al., 2008; White et al., 2007; Baraiibar 2013). Tradicionalmente el estudio de estas especies se ha centrado en el efecto negativo que su abundancia puede suponer para la producción del cultivo. Sin embargo, la relación entre la abundancia y la diversidad de estas especies con parámetros funcionales debe considerarse en un contexto amplio (Petit et al., 2011).

En este sentido es importante determinar la relación entre la diversidad de las comunidades arvenses y el funcionamiento de los agroecosistemas. Un aspecto fundamental de este funcionamiento es la producción y la calidad de los cultivos. En términos de calidad, el contenido en proteína del grano es un carácter importante. En el caso de los cultivos de trigo, son necesarios valores altos de proteína para la elaboración de harinas y semolinas adecuadas para la fabricación de panes y pasta.

El contenido en proteína en diversos cultivos muestra un componente genético. Sin embargo, una parte importante de la variabilidad encontrada en la cantidad de proteína responde a factores ambientales. En distintos cultivos se ha observado una relación positiva del contenido en proteína y la disponibilidad de nutrientes en suelo, en particular de nitrógeno (Nass et al., 2003), mientras que la relación entre el contenido en proteína y el rendimiento del cultivo o la abundancia de plantas arvenses es diversa (Chen et al., 2008; Motzo et al., 2004). Esta variedad de respuestas puede ser consecuencia de no contemplar la interrelación entre la disponibilidad de nutrientes, la abundancia de plantas arvenses y el rendimiento del cultivo. Por otra parte, no solo la abundancia, sino la diversidad y composición de las comunidades arvenses podría afectar

al contenido en proteína de los cultivos. Incorporar la diversidad como un factor que puede relacionarse con el contenido en proteína en los cultivos permitiría evaluar el efecto de las comunidades arvenses en un contexto funcional más amplio. Esta aproximación reconoce, también, el desarrollo teórico que se ha elaborado en ecología respecto a las relaciones entre la diversidad de plantas, la disponibilidad de recursos y la producción primaria y otras funciones de los ecosistemas (Cardinale et al., 2009). Este marco señala la dependencia de la producción primaria de los recursos disponibles, así como la relación entre la diversidad y la disponibilidad de recursos, y el efecto de la diversidad sobre las funciones del ecosistema.

En este contexto, el objetivo de este trabajo ha sido analizar la relación entre el contenido en proteína de cultivos de trigo y la diversidad de sus comunidades arvenses. Nuestra hipótesis de trabajo es que el contenido en proteína del grano no puede explicarse aisladamente de las relaciones existentes entre la biomasa del cultivo y de las arvenses, de la diversidad de éstas y de la disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, proponemos un modelo multivariante para explicar el contenido en proteína del grano. En este modelo el contenido en proteína es función de la biomasa del cultivo y de las arvenses, de la diversidad de estas comunidades y de la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, la disponibilidad de nutrientes controla la producción de biomasa del cultivo y de las arvenses y la diversidad de estas comunidades. Finalmente, incorporamos las relaciones de competencia entre cultivo y arvenses considerando una dependencia entre sus producciones de biomasa (Fig. 1).

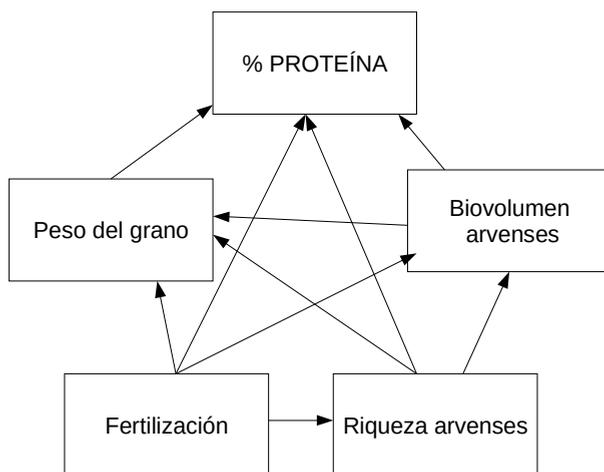


Figura 1. Esquema del modelo propuesto para explicar el contenido en proteína del trigo.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

En la campaña 2013-2014 se seleccionaron 26 campos de trigo distribuidos en Andalucía, Cataluña, Castilla La Mancha y Madrid. Quince de los campos seleccionados eran manejados usando herbicidas y fertilizantes inorgánicos, mientras que en el resto de los campos el manejo era ecológico.

**2.1. Muestreos en campo y obtención de variables.** En cada campo, durante el estado de ahijado del cultivo, se dispusieron aleatoriamente diez parcelas de muestreo ( $1 \times 1 \text{ m}^2$ ) que se mantuvieron hasta la cosecha del cereal. Durante el estado de encañado del cultivo, en cada parcela se registró la cobertura (en  $\text{cm}^2$ ) y la altura media de cada una de las especies arvenses presentes. Esos datos sirvieron para calcular la riqueza de especies y el su biovolumen (como el sumatorio del producto de la cobertura y la altura media de cada especie en la parcela de muestreo). Para poder observar el efecto de las arvenses durante todo el ciclo del cultivo, el muestreo en encañado no fue destructivo y el biovolumen se utilizó como una estima de su producción primaria. Inmediatamente antes de la cosecha del cultivo, en cada parcela de muestreo se contaron los tallos con espigas, se seleccionaron 30 de estos y se cortaron. En el laboratorio se pesaron las 30 espigas (después de 48 horas en estufa a  $65^\circ\text{C}$ ) y se obtuvo su peso medio. Este dato se utilizó para calcular el peso total del grano en cada parcela de muestreo y como una estimación de la producción primaria del cultivo. Las muestras de trigo se molieron para obtener harina de un tamaño de partícula de  $100 \mu\text{m}$  y el total de proteína presente en cada muestra se determinó según el método Kjeldahl según el método ICC n.105/2 (ICC 1994). Los resultados se expresan como el porcentaje de proteína ( $N \times 5,7$ ) en el total de materia seca. En cada campo se obtuvo un valor de la fertilización medido como  $\text{kg}$  de  $N/\text{ha}$ , mediante una encuesta a los agricultores.

**2.2. Análisis estadísticos.** En primer lugar exploramos, mediante correlaciones de Pearson, las relaciones entre el contenido en proteína, el peso del grano, el biovolumen de las arvenses, la riqueza de arvenses y la fertilización ( $\text{kg N}/\text{ha}$ ). Los resultados de estas correlaciones mostraron una elevada covariación entre las variables. Esto sugiere que un análisis que asuma la causalidad de las diferentes relaciones univariantes puede dar lugar a interpretaciones confusas de los mecanismos implicados. A su vez estos resultados refuerzan nuestra idea de un análisis multivariante de las relaciones propuestas.

Para testar nuestra hipótesis multivariante utilizamos modelos de ecuaciones estructurales (SEM). Nuestro modelo inicial aparece descrito en la figura 1. Este modelo fue comparado con un modelo en el que se omitió la riqueza arvense como factor explicativo de la cantidad de proteína en grano. El ajuste de los modelos se evaluó mediante un test de chi-cuadrado. Así, un valor de  $p > 0,05$  indica que no existe una desviación estadísticamente significativa entre el modelo propuesto y los datos observados, y señala un buen ajuste del modelo. Además, se comprobó que todas las relaciones individuales eran significativas. Las variables contenido en proteína del grano, biovolumen de las arvenses y peso del grano fueron transformadas mediante logaritmos naturales antes del análisis. Todos los análisis se llevaron a cabo en el entorno de R (R Core Team, 2017) utilizando funciones de la librería lavaan (Yves Rosseel, 2012).

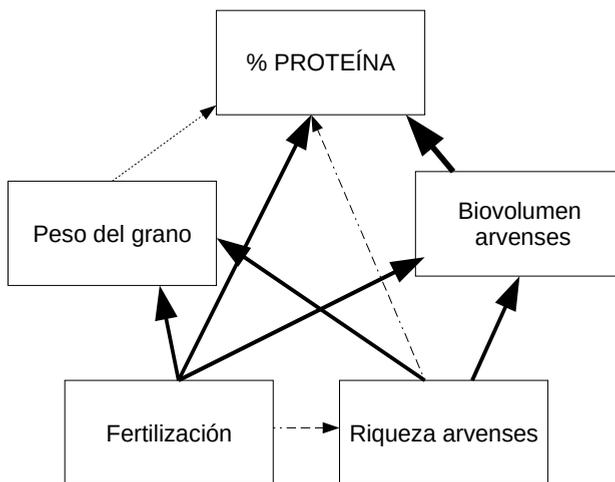
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido en proteína y el rendimiento del trigo en los campos muestreados varió entre 8 y 21% (con una media de 13%) y 27 y  $774 \text{ g}/\text{m}^2$  respectivamente. La fertilización aplicada se encontró entre 0 y  $163 \text{ kg N}/\text{ha}$ . El biovolumen arvense fue muy variable entre 5 y  $82000 \text{ cm}^3$ , mientras que el número de especies arvenses encontradas varió entre 1 y 26.

**3.1. Correlaciones entre las variables analizadas.** Las correlaciones realizadas muestran una relación positiva y estadísticamente significativa del contenido en proteína con la

fertilización ( $r=0,36$ ) y con el biovolumen arvense ( $r=0,24$ ) y negativa con la riqueza de especies arvenses ( $r=-0,60$ ). Por otro lado, el peso del grano se relacionó positivamente con la fertilización ( $r=0,40$ ) y el biovolumen arvense ( $r=0,24$ ). A su vez el biovolumen se relacionó positivamente con la fertilización ( $r=0,32$ ) y negativamente con la riqueza de arvenses ( $r=-0,19$ ). Finalmente la riqueza se relacionó negativamente con la fertilización ( $r=-0,45$ ).

**3.2. Análisis de un modelo multivariante para explicar el contenido en proteína del grano.** Nuestros resultados mostraron que el ajuste del modelo inicial (Fig. 1) no era apropiado ( $p<0.001$ ). En este modelo identificamos que el efecto del biovolumen arvense sobre el peso del grano no era significativo ( $p>0.05$ ). Al eliminar esta relación el modelo resultante (modelo 2) presenta un ajuste adecuado ( $X^2=0,019$   $gl=1$   $p=0,89$ ,  $AIC=5762$ ; Fig. 2). Cuando comparamos este modelo con otro similar (modelo 3) en el que la riqueza arvense está excluida de la ecuación que modela el efecto de distintas variables sobre el contenido en proteína, el ajuste del modelo es inferior y presenta un mayor valor de AIC ( $X^2=92,8$   $gl=2$   $p<0.001$ ,  $AIC=5852$ ). Esto sugiere que el modelo 2 puede ser una adecuada representación de las covarianzas encontradas en nuestro conjunto de datos. En este modelo todas las relaciones son estadísticamente significativas ( $p<0,05$ ), exceptuando la relación entre el contenido en proteína y el peso del grano. Sin embargo, la eliminación de la variable peso del grano no mejoró el modelo final.



**Figura 2.** Modelo final para explicar el contenido en proteína del grano en cultivos de trigo. Las flechas continuas muestran relaciones positivas y estadísticamente significativas. La flecha de puntos indica una relación positiva pero no significativa, mientras que las flechas discontinuas señalan relaciones negativas y estadísticamente significativas. Los coeficientes de estas relaciones aparecen en el texto.

El modelo propuesto para explicar el contenido en proteína del grano indica un entramado de relaciones entre la producción de biomasa (en arvenses y cultivo), la riqueza de especies y la fertilización, que determinan, seguidamente, el contenido en proteína del grano. El aumento de fertilización está relacionado con la pérdida de especies arvenses (coeficiente= $-0.04$   $p<0.001$ ).

Este efecto ha sido descrito tanto en los agroecosistemas como en otros sistemas naturales (Harpole and Tilman, 2007). Por su parte, la fertilización supone un incremento en la producción primaria, que se refleja en un aumento en el peso del grano (coeficiente=0,004  $p<0,001$ ) y en el biovolumen de las arvenses (coeficiente=0,01  $p<0,001$ ). Asimismo, el modelo muestra un efecto positivo de la diversidad sobre la producción primaria del cultivo (coeficiente=0,02  $p<0,01$ ) y las arvenses (coeficiente=0,09  $p<0,01$ ). Este resultado se encuentra en la línea de lo propuesto por las teorías que relacionan la diversidad y el funcionamiento de los sistemas. Este cuerpo teórico propone que la riqueza de especies puede actuar como una variable independiente para determinar la eficiencia con la que una comunidad utiliza los recursos disponibles para convertirlos en biomasa (Hooper et al., 2005). Finalmente, el contenido en proteína del grano se relaciona positivamente con la fertilización (coeficiente=0,0001  $p=0,04$ ) y con el biovolumen arvense (coeficiente=0,0001  $p=0,04$ ). Mientras que la riqueza (coeficiente=-0,03  $p<0,001$ ) tiene un efecto negativo sobre el contenido de proteína.

Estos resultados indican que el contenido de proteína en el grano parece estar limitado por la disponibilidad de nitrógeno. Igualmente, la abundancia de arvenses se relaciona con valores altos de proteína. Esto puede relacionarse con otros trabajos que indican que ciertas condiciones de estrés para el cultivo, como el déficit hídrico, incrementan el porcentaje de proteína (Gholamhoseini et al., 2013). La riqueza de arvenses se relaciona positivamente con la abundancia de estas especies, de forma que existe un efecto indirecto y positivo de la riqueza sobre el contenido en proteína del grano. Sin embargo, observamos una relación directa y negativa entre el contenido de proteína en los casos de mayor riqueza de arvenses. Esto puede relacionarse con una mayor eficiencia de estas comunidades en el uso de los recursos conforme la riqueza aumenta. En este trabajo solo se ha cuantificado el contenido en proteína del cultivo, pero sería interesante determinar si el contenido en proteína del conjunto de la comunidad se incrementa conforme lo hace la riqueza de especies. Esto se ha observado en estudios que comparan el contenido en proteínas en cultivos para forraje de maíz con y sin arvenses (Gholamhoseini et al., 2013). Nuestros resultados también indican que un elevado rendimiento del cultivo no tiene por qué comprometer el contenido en proteína del grano. Asimismo, no se observa en este caso, una relación negativa entre la producción primaria del cultivo y la riqueza y producción primaria de arvenses.

Este trabajo pretende señalar que el manejo de las comunidades arvenses debe estar basado en un conocimiento de sus relaciones con el resto del sistema del que forman parte, destacando en este sentido la importancia de los procesos funcionales más relevantes.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por fondos FEDER y el plan Nacional de Investigación (I+D) del Ministerio de Economía y Competitividad (AGL2015-64130-R). Agradecemos la colaboración de todas aquellas personas que nos permitieron el acceso a sus fincas para los muestreos de vegetación asociados a este trabajo.

#### 5. REFERENCIAS

Baraibar B (2013). La depredación de semillas de malas hierbas, una función ecológica a conservar y potenciar. *Ecosistemas*, 22, 62-66.

- Cardinale BJ, Hillebrand H, Harpole WS, Gross K and Ptacnik R (2009). Separating the influence of resource 'availability' from resource 'imbalance' on productivity-diversity relationships. *Ecology Letters* 12, 475-487.
- Chen C, Neill K, Wichman D and Westcott M (2008). Hard red spring wheat response to row spacing, seeding rate, and nitrogen. *Agronomy Journal*, 100, 1296-1302.
- Gholamhoseini M, AghaAlikhani M, Mirlatifi SM, Modarres Sanavy SAM (2013). Weeds Friend or foe? Increasing forage yield and decreasing nitrate leaching on a corn forage farm infested by redroot pigweed. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 179, 151-162.
- Harpole WS & Tilman D. (2007). Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. *Nature*, 446, 791-793.
- Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J y Wardle DA (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75, 3-35.
- ICC (1994). Determination of crude protein in cereals and cereal products for food and for feed. International Association for Cereal Science and Technology. Method No. 105/2.
- Kragten S, Trimbos KB and de Snoo GR (2008). Breeding skylarks (*Alauda arvensis*) on organic and conventional arable farms in The Netherlands. *Agriculture Ecosystems & Environment* 126, 163-167.
- Motzo R, Fois S and Giunta F (2004). Relationship between grain yield and quality of durum wheats from different eras of breeding. *Euphytica*, 140,147-154.
- Nass HG, Ivany JA and MacLeod JA (2003). Agronomic performance and quality of spring wheat and soybean cultivars under organic culture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18, 164-170.
- Petit S, Boursault A, Le Guilloux M, Munier-Jolain N and Reboud X (2011). Weeds in agricultural landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 309-317.
- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- White SS, Renner KA, Menalled FD and Landis DA (2007). Feeding preferences of weed seed predators and effect on weed emergence. *Weed Science*, 55, 606-612.
- Yves Rosseel (2012). lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1-36. URL <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>.

---

### Relationship between weed richness and fertilization controls wheat grain protein content

**Summary:** We analyzed the relationship between the protein content of wheat and the diversity of the weed communities of the fields where it was produced. We present a multivariate model that includes the cross relationship between wheat and weed biomass, weed richness and nutrient availability. The model was fitted with data from 26 fields. Our results show that the proposed model is adequate to explain the protein content of wheat. Increasing fertilization leads to a loss of weed species, and to the increase of crop and weed primary productivity. Weed richness positively affects crop and weed productivity. Protein content is positively related with fertilization and weed abundance, whereas it is negatively related with crop grain weight and species richness.

**Keywords:** biodiversity, grain weight, structural equation modeling.