



Munich Personal RePEc Archive

Grain crop yield prediction based on weekly soil moisture and phenological stage reports from SAGyP

Frank, Luis

6 March 2025

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/123838/>
MPRA Paper No. 123838, posted 07 Mar 2025 10:11 UTC

Proyección del rendimiento de cultivos de grano basada en los informes semanales de humedad edáfica y estadio fenológico de SAGyP

Luis Frank*

Resumen

El trabajo propone utilizar datos semanales de humedad edáfica y estadio fenológico, proporcionados por SAGyP, para proyectar el rendimiento de maíz, soja (de primera y segunda), trigo y girasol. El ajuste de modelos específicos revela una estrecha relación entre la humedad edáfica y el rendimiento final de los cuatro cultivos, independientemente del estadio fenológico del cultivo. Esta aparente irrelevancia del estadio fenológico contradice la bibliografía agronómica, que se basa principalmente en ensayos de campo. Sin embargo, los coeficientes de los modelos propuestos, que a su vez pueden interpretarse directamente como elasticidades del rendimiento con respecto a la humedad, son consistentes con los resultados de otros autores. Al final del trabajo, se discute el uso de las elasticidades obtenidas para proyectar la cosecha nacional y optimizar la gestión del riesgo climático inherente a la producción agrícola a nivel empresarial.

Palabras clave: rendimiento de soja, maíz, trigo y girasol; humedad edáfica; estado general de los cultivos; SAGyP

JEL: Q11, Q15

Abstract

The paper proposes to use weekly soil moisture and phenological stage data, provided by SAGyP reports, to predict the yield of corn, soybeans (first and second sow), wheat and sunflower. The adjustment of specific models reveals a close relationship between soil moisture and the final yield of the four crops, regardless of the phenological stage of the crop. This apparent irrelevance of the phenological stage contradicts the agronomic literature, which is mainly based on field trials. However, the coefficients of the proposed models, which in turn can be directly interpreted as yield elasticities with respect to moisture, are consistent with the results of other authors. At the end of the paper, the use of the obtained elasticities to predict the national harvest and optimize the management of the climatic risk inherent to agricultural production at a firm level is discussed.

Keywords: soybean, corn, wheat and sunflower yield; soil moisture; general crop conditions; SAGyP

JEL: Q11, Q15

*DNMyP. Secretaría de Política Económica. Ministerio de Economía. Av. Hipólito Yrigoyen 250, C1086AAB. Buenos Aires, Argentina.

1 Introducción

El pronóstico de la cosecha agrícola es clave para la programación macroeconómica, no solo por su impacto en otros sectores de actividad, sino también por su influencia en el balance de divisas del Banco Central de la República Argentina (BCRA). Diversas entidades, como la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, la Bolsa de Comercio de Rosario y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), elaboran pronósticos de cosecha mediante metodologías variadas, que generalmente no son de dominio público. Por su parte, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (SAGyP) publica semanalmente un informe sobre el estado de los cultivos y la humedad edáfica en las principales zonas agrícolas del país. Sin embargo, el uso de este informe con fines de pronóstico parece haber sido subestimado en nuestro país.¹ A nuestro juicio, esto se debe al carácter cualitativo de la información proporcionada por la SAGyP, especialmente en lo que respecta a la humedad. En consecuencia, resulta difícil determinar si dicha información tiene valor predictivo, más allá de su uso extendido para evaluar la vigencia del último pronóstico disponible.

El objetivo del presente trabajo es explorar la utilidad de los informes semanales de la SAGyP para pronosticar la cosecha de los cuatro principales cultivos de granos. En particular, analizaremos la relación entre la humedad edáfica (convertida en una métrica adecuada) y el rendimiento de cada cultivo. Nos enfocamos en esta relación debido a su relevancia agronómica y económica, y porque consideramos que su verificación es esencial para justificar el uso de estos datos. Una vez confirmada la relación entre humedad y rendimiento, buscaremos enriquecer la estimación del rendimiento incorporando una métrica del estado general del cultivo, aunque esta posibilidad se explorará en un informe posterior. Es importante destacar que, de las dos variables incluidas en el informe (estado general del cultivo y humedad), la humedad es la única que se releva de manera continua, habilitando un ajuste continuo de la proyección de cosecha, sean cuales fueren los cultivos en desarrollo.

2 Métodos

Los datos

La Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) publica semanalmente un informe sobre el estado de los cultivos. Este incluye planillas que resumen el estadio fenológico y el estado general de cada cultivo en el área de influencia de las 40 delegaciones de la SAGyP, así como el nivel de humedad edáfica en cada zona. El estadio fenológico se clasifica en cinco categorías: emergencia (E), crecimiento (C), floración (F), llenado (L) y madurez (M). El estado general se divide en cuatro categorías: muy bueno (MB), bueno (B), regular (R) y malo (M). En las planillas, se detallan los porcentajes de la superficie sembrada correspondiente a cada categoría. En una columna separada, se informa la humedad edáfica, clasificada en seis niveles: sequía (S), principio de sequía (PS), regular (R), adecuada (A), exceso (E) e inundación (I). Estos informes semanales solo están disponibles para su descarga en formato PDF.

En primer lugar, se compilaron las planillas semanales de trigo, maíz, soja de primera y de

¹El único antecedente bibliográfico identificado [5] corresponde a la predicción del rendimiento de maíz a nivel de distrito en Estados Unidos. El autor propone un modelo de regresión simple para explicar y predecir el rendimiento final en función de un índice del estado del cultivo, y estima los coeficientes del modelo para cada semana del ciclo durante los últimos 30 años. Por otra parte, [3] utiliza un índice similar para evaluar la capacidad del mercado de futuros de anticipar cambios en el estado de maíz, soja y trigo de invierno.

segunda, y girasol correspondientes a las campañas agrícolas 2022/23 y 2023/24. El ciclo de estos cultivos tiene una duración aproximada de entre 20 y 30 semanas. Las planillas, originalmente descargadas en formato PDF, fueron convertidas a Excel. Posteriormente, se llevó a cabo un trabajo de consistencia de las cifras, ya que en varios casos los porcentajes no sumaban 100. Cabe destacar que, para la construcción de los índices, fue necesario incluir en el estadio de emergencia el porcentaje de la superficie sembrada que aún no había emergido. Las principales inconsistencias detectadas y las soluciones aplicadas fueron las siguientes:

- Reporte de frecuencias absolutas en lugar de relativas. En estos casos, las frecuencias absolutas se convirtieron en frecuencias relativas y se multiplicaron por 100 para expresarlas en porcentajes.
- Datos faltantes. Cuando el reporte del estadio fenológico o del estado del cultivo se omitió durante una o dos semanas, los valores faltantes se interpolaron linealmente utilizando el valor inmediatamente anterior y el posterior. Se aplicó el mismo criterio para imputar datos faltantes de humedad. En los casos en que los valores ausentes abarcaban más de dos semanas, la imputación se realizó considerando la evolución de cada variable en las zonas más próximas. Estas interpolaciones se aplicaron sobre los índices fenológicos, de estado o de humedad (detallados más adelante), y no sobre las planillas originales.
- Cifras inconsistentes. Se identificaron casos de datos incoherentes, como estadios fenológicos medios que retrocedían en lugar de avanzar. En estas situaciones, los porcentajes defectuosos se corrigieron mediante interpolación, siguiendo el mismo procedimiento que para los datos faltantes.
- Defectos de edición. Se observaron problemas como corrimientos de celdas en algunas planillas originales, traslocación de letras en las siglas de los niveles de humedad, entre otros. En todos estos casos, las planillas fueron corregidas manualmente, y se dejaron notas explicativas para registrar las modificaciones realizadas.

Al finalizar esta etapa, se obtuvo una base de planillas “limpias” y listas para convertir las distribuciones de estadios fenológicos, estados generales y categorías cualitativas de humedad en índices.

En una segunda etapa, los estadios fenológicos, los estados generales y los niveles de humedad se transformaron en índices. Para ello, se calcularon las medias agrupadas de los estadios fenológicos y los estados generales, tras convertir las categorías en una escala numérica. La escala de estadios fenológicos abarcó del 1 (emergencia) al 5 (madurez), mientras que la de estados generales fue del 1 (malo) al 4 (muy bueno). Los niveles de humedad se convirtieron en una escala del 1 (sequía) al 6 (inundación), aunque, en la práctica, no se registraron valores superiores a 5 en las campañas analizadas. Los valores faltantes se imputaron siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Por otro lado, se recopilaron los rendimientos del partido o departamento cabecera de cada delegación, obtenidos de la base histórica de la Dirección de Estimaciones Agrícolas, disponible en línea en <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>. Para las delegaciones que abarcan una provincia completa, se asignaron los rendimientos medios provinciales en lugar de los del distrito cabecera. Posteriormente, las medias agrupadas de humedad y los rendimientos por delegación se rescalaron dividiéndolos por el valor medio de las campañas estudiadas. En el caso de las medias agrupadas de los estadios fenológicos, el rescalamiento se realizó dividiéndolos por la media teórica de 2,5. Este proceso de rescalamiento tuvo como objetivo facilitar la interpretación de los coeficientes del modelo explicativo del rendimiento que se describe a continuación.

El modelo

La tercera etapa consistió en plantear dos posibles modelos para representar la función de producción de trigo, maíz, soja y girasol en el corto plazo: un modelo lineal y un modelo logarítmico. En ambos casos, se asume que la tecnología es fija, por lo que la única variable relevante de la función de producción es la humedad edáfica. Sin embargo, dado que esta varía a lo largo del ciclo del cultivo y la bibliografía agronómica [8, cap. 16] documenta una respuesta diferencial entre la humedad y el rendimiento en distintos estadios fenológicos, cabe anticipar una interacción entre humedad y estadio fenológico. En síntesis, los modelos planteados son:

$$\begin{cases} RINDE_i = \beta_0 + \beta_1 HUM_i + \beta_2 (HUM_i \times FEN_i) + \epsilon_i \\ \ln RINDE_i = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HUM_i + \beta_2 (FEN_i \times \ln HUM_i) + \epsilon_i \end{cases} \quad (1)$$

donde $RINDE$ es el índice de rendimiento, HUM es el índice de humedad y FEN es el índice fenológico. El término ϵ_i representa el error, que, en principio, cumple con los supuestos del modelo de regresión. Al trabajar con índices, la suma de coeficientes $\beta_1 + \beta_2$ en el modelo lineal representa la elasticidad del rendimiento respecto de la humedad a mitad del ciclo del cultivo y con una dotación media hipotética de humedad. En el modelo logarítmico, la interpretación de los coeficientes es similar, pero la elasticidad permanece constante para cualquier nivel de humedad. Para ilustrarlo con mayor claridad, consideremos la función subyacente al modelo lineal expresada en índices:

$$\begin{aligned} \frac{y}{\bar{y}} &= \frac{\beta_0}{\bar{y}} + \left(\beta_1 \frac{\bar{x}_1}{\bar{y}} \right) \frac{x_1}{\bar{x}_1} + \left(\beta_2 \frac{\bar{x}_1}{\bar{y}} \bar{x}_2 \right) \frac{x_1}{\bar{x}_1} \frac{x_2}{\bar{x}_2} \\ &= \beta_0^* + \beta_1^* x_1^* + \beta_2^* x_1^* x_2^* \end{aligned} \quad (2)$$

La elasticidad en el punto medio de todos los índices se calcula como:

$$\lambda_1|_{x_1^*, x_2^*=1} = \frac{\partial y^*}{\partial x_1^*} \frac{x_1^*}{y^*} = \beta_1^* + \beta_2^* \quad (3)$$

Es importante señalar que la condición $y^* = 1$ cuando $x_1^*, x_2^* = 1$ es, en rigor, una restricción impuesta al modelo para garantizar que todos los índices sean exactamente iguales a la unidad en la media. En definitiva, la escala elegida para las variables permite interpretar directamente los coeficientes de regresión como elasticidades. La elasticidad del rendimiento respecto de x_2^* es $\lambda_2|_{x_1^*, x_2^*=1} = \beta_2^*$.

3 Resultados

Los resultados del ajuste de los modelos (1) se presentan en el apéndice. A continuación, se calculan las elasticidades del rendimiento respecto de la humedad. En el apéndice se observa que en ningún caso se rechaza la hipótesis $\beta_2^* = 0$, lo que implica que la elasticidad respecto de la humedad sería directamente β_1^* . Sin embargo, es preferible estimar las elasticidades sin omitir $\hat{\beta}_2^*$ ya que los estimadores son variables aleatorias correlacionadas.² Este criterio se adopta en el Cuadro 1.

Los coeficientes de determinación ajustados (R^2 ajustado) para maíz, soja de primera y soja de segunda se situaron en torno a 0,40, mientras que el de trigo fue de 0,20 y el de girasol de 0,10. En general, los modelos lineales presentaron un mejor ajuste que los logarítmicos. Aunque

²También es posible estimar nuevamente el coeficiente de humedad excluyendo el término de interacción del modelo.

Cuadro 1: Elasticidades del rendimiento respecto de la humedad edáfica evaluadas en niveles medios de humedad y rendimiento.

Cultivo	Modelo	
	lineal	logarítmico
Trigo	0,50	0,46
Maíz	0,64	0,62
Soja de primera	0,76	0,69
Soja de segunda	0,93	0,85
Girasol	0,10	–

los valores de R^2 son relativamente bajos, los coeficientes de regresión asociados a la humedad resultaron significativos en todos los casos.

Las pruebas diagnósticas de multicolinealidad y heteroscedasticidad (omitidas en el apéndice por razones de brevedad) no mostraron dependencias lineales importantes entre los regresores, pero sí indicaron la presencia de heteroscedasticidad en los errores. Ante este resultado, se recalcularon las pruebas t utilizando desvíos estándar (s_b) estimados mediante el estimador robusto de White. Incluso con esta corrección, la humedad mantuvo su relevancia estadística en todos los casos. No se realizaron pruebas de autocorrelación en los errores, dado que el análisis se limitó a dos campañas agrícolas.

4 Discusión

Los informes semanales de la SAGyP sobre humedad y estado de los cultivos resultan útiles para predecir el rendimiento al final de la campaña agrícola, al menos en los cuatro principales cultivos de grano de Argentina. La humedad edáfica, reportada originalmente en una escala cualitativa y luego convertida a una escala numérica, muestra una sólida relación con el rendimiento, aunque es importante aclarar que el estudio no considera situaciones de inundación, de modo que los modelos propuestos no serían válidos en tal circunstancia. Los resultados del Cuadro 1 revelan que la humedad edáfica tiene un fuerte impacto en el rendimiento de soja, un impacto moderado en el rendimiento de maíz y el trigo, y un impacto leve en el rendimiento de girasol. Estos hallazgos coinciden con observaciones agronómicas fundamentadas en las capas de suelo exploradas por las raíces de cada cultivo y en la susceptibilidad del cultivo al *stress* hídrico durante la etapa reproductiva del los cultivos [2, cap. 7, sec. 8]. Asimismo, coinciden con otros análisis (e.g. [7, 6]) realizados en relación al efecto de la Oscilación del Pacífico Sur (ENSO) sobre la producción argentina. Inclusive, la elasticidad implícita en los resultados presentados por [6] para el cultivo de maíz, en la precipitación y el rendimiento medios, se halla en el rango $-0,66$ a $-0,71$, muy próxima al valor correspondiente del cuadro 1.

Por otro lado, resulta llamativo que la relación entre humedad y rendimiento no esté vinculada al estadio fenológico del cultivo, salvo por una debil interacción en el modelo logarítmico de maíz y soja. Es bien sabido, por estudios agronómicos, que la disponibilidad de agua es crítica durante la floración en el cultivo de maíz (ver e.g. [4] y [1, cap. 5]) y durante las etapas reproductivas avanzadas de la soja [2, cap. 7, pág. 192-195]. Sin embargo, éstas y otras observaciones agronómicas realizadas a nivel de lote no parecen trasladarse a la producción agregada a escala nacional. Esta inconsistencia podría explicarse por la diversidad de condiciones ambientales abarcada por los datos agregados y por ciertas estrategias adaptativas al *stress* hídrico implementadas por los productores agropecuarios, como el diseño de planes de producción acordes

con la fase del ENSO o el ajuste de las fechas de siembra (adelantamiento o postergación) de cada cultivo, entre otras.

Las elasticidades del cuadro 1 tienen una aplicación directa en la proyección de la cosecha nacional, ya que permiten construir un indicador de la evolución de la cosecha en función de la humedad edáfica agregada. Si denominamos Y_t^* al índice de volumen físico a cosechar, este puede expresarse como:

$$Y_t^* \approx \sum_{j=1}^p w_j (\lambda_j x_t^*) = (\mathbf{w}'\boldsymbol{\lambda}) x_t^* \quad (4)$$

donde $w_j = s_j y_j^* / (\mathbf{s}'\mathbf{y}^*)$ representa la participación del j -ésimo cultivo en la producción total, x_t^* es un índice de humedad edáfica escalada a la unidad en su punto medio en la semana t , y λ_j se refiere a la elasticidad del rendimiento respecto de la humedad edáfica del j -ésimo cultivo. Estas mismas elasticidades son también útiles para optimizar la planificación de la producción agrícola. Por ejemplo, a través de ellas a partir de ellas es posible determinar la combinación de cultivos que minimiza la variabilidad de rendimientos debida a la disponibilidad de agua. En el caso de dos cultivos, la combinación óptima es la que surge de resolver el siguiente problema de optimización en el entorno del rendimiento medio:

$$\text{mín } \{w_1 y_1^* + w_2 y_2^*\} \quad \text{s.a.} \quad y_j^* = \beta_0^* + \lambda_j x^*, \quad w_1 + w_2 = 1. \quad (5)$$

Se puede verificar fácilmente que la condición de primer orden asociada a este problema es:

$$\frac{\partial \text{var}(\mathbf{w}'\mathbf{y}^*)}{\partial \mathbf{w}} = [2 w_1 \lambda_1^2 + 2 \lambda_1 \lambda_2 (1 - 2w_1) - 2(1 - w_1) \lambda_2^2] \text{var}(x^*) = 0$$

lo que implica que

$$w_1 = \frac{\lambda_2(\lambda_2 - \lambda_1)}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2} \quad \text{para todo} \quad \lambda_2 \geq \lambda_1, \quad \lambda_1 + \lambda_2 \neq 0 \quad (6)$$

En síntesis, los informes semanales sobre el estado de los cultivos elaborados por SAGyP proporcionan información valiosa que parece haber sido subutilizada. Entre las variables reportadas, la humedad edáfica resulta particularmente útil para anticipar la producción agrícola. Sin embargo, es importante advertir que ajustar las proyecciones de rendimiento de manera semanal podría introducir una variabilidad que en la práctica no se refleje en variables presuntamente asociadas al rendimiento, como el estado general del cultivo, debido a la resiliencia de suelen mostrar los cultivos frente a episodios de *stress* hídrico. No profundizaremos aquí en la forma de calibrar el indicador en este sentido.

Referencias

- [1] Andrade F., Cirilo A., Uhart S. & M. Otegui, 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalb Press y Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. Argentina. ISBN 987-96163-0-8.
- [2] Andrade F. y V. Sadras Ed., 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. ISBN 987-521-016-1
- [3] Bain R. & T. Fortenbery, 2013. Impacts of Crop Conditions Reports on National and Local Wheat Markets. Proceedings of the NCCC-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management. St. Louis, MO. USA.

- [4] Hall A., Lemcoff J. & N. Trápani, 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26: 19-38.
- [5] Ibendahl G., 2024. Estimates of Corn Production and Yields Based on 6/30/2024 Crop Conditions. *farmdoc daily* (14):125, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign. USA.
- [6] Monzón J., Sadras V. & F. Andrade, 2012. Modelled yield and water use efficiency of maize in response to crop management and Southern Oscillation Index in a soil-climate transect in Argentina. *Field Crops Research* 130: 8-18.
- [7] Podestá G., Messina C., Grondona M. & G. Magrin, 1999. Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño–Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology* 28: 1488-1498.
- [8] Satorre E., Benech Arnold R., Slafer G., de la Fuente E., Miralles D., Otegui M. & R. Savin, 2003. *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. ISBN 950-29-0713-2

A Resultados del ajuste de los modelos de regresión

A.1 Maíz

Los datos abarcan 28 semanas de las campañas 2022/23 y 2023/24, entre el 23-11-22 y 31-05-23, y el 23-11-23 y 30-05-24, respectivamente. Se incluyeron datos de 28 delegaciones de las provincias pampeanas, vista la gran cantidad de datos faltantes de otras provincias.

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.357639   0.017979  19.892  <2e-16 ***
HUM          0.626069   0.021929  28.549  <2e-16 ***
HUM.FEN      0.011717   0.009089   1.289   0.198
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1807 on 1565 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4673, Adjusted R-squared:  0.4666
F-statistic: 686.3 on 2 and 1565 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.009856   0.005185  -1.901   0.0575 .
logHUM       0.697178   0.058415  11.935  <2e-16 ***
logHUM.FEN  -0.074556   0.040456  -1.843   0.0655 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2033 on 1565 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4258, Adjusted R-squared:  0.4251
F-statistic: 580.4 on 2 and 1565 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

A.2 Soja de primera

Los datos abarcan 19 semanas de las campañas 2022/23 y 2023/24, entre 11-01-23 y 17-05-23, y entre el 12-01-24 y el 16-05-24, respectivamente.

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.235631   0.023482  10.035  <2e-16 ***
HUM          0.750783   0.029466  25.480  <2e-16 ***
HUM.FEN      0.009286   0.012573   0.739   0.46
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2087 on 1403 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4448, Adjusted R-squared:  0.444
F-statistic: 562 on 2 and 1403 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.018463   0.006115  -3.019  0.00258 **
logHUM       0.655971   0.092153   7.118  1.74e-12 ***
logHUM.FEN   0.029981   0.060861   0.493  0.62236
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2275 on 1403 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4172, Adjusted R-squared:  0.4164
F-statistic: 502.2 on 2 and 1403 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

A.3 Soja de segunda

Los datos abarcan 19 semanas de las campañas 2022/23 y 2023/24, entre 11-01-23 y 17-05-23, y entre el 12-01-24 y el 16-05-24, respectivamente.

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.05834    0.03092   1.887  0.0594 .
HUM          0.91082    0.03623  25.143 <2e-16 ***
HUM.FEN      0.02345    0.01576   1.488  0.1370
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2747 on 1403 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4122, Adjusted R-squared:  0.4113
F-statistic: 491.9 on 2 and 1403 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.044431   0.008688  -5.114  3.59e-07 ***
logHUM       0.697125   0.101761   6.851  1.10e-11 ***
logHUM.FEN   0.154647   0.077168   2.004  0.0453 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3233 on 1403 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3661, Adjusted R-squared:  0.3652
F-statistic: 405.1 on 2 and 1403 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

A.4 Girasol

Los datos abarcan 19 semanas de las campañas 2022/23 y 2023/24, entre 23-11-22 y 29-03-23, y entre el 23-11-24 y el 27-03-24, respectivamente. Se omitieron las últimas 7 semanas de los delegaciones de Santa Fe y Chaco por falta de datos.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.901948	0.014192	63.552	< 2e-16 ***
HUM	0.095801	0.015792	6.066	2.56e-09 ***
HUM.FEN	0.001711	0.005180	0.330	0.741

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.05758 on 509 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.08897, Adjusted R-squared: 0.08539
F-statistic: 24.85 on 2 and 509 DF, p-value: 5.022e-11

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-8.781e-05	2.570e-03	-0.034	0.973
logHUM	4.621e-02	4.123e-02	1.121	0.263
logHUM.FEN	2.741e-02	2.537e-02	1.080	0.280

Residual standard error: 0.05788 on 509 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.09198, Adjusted R-squared: 0.08841
F-statistic: 25.78 on 2 and 509 DF, p-value: 2.166e-11

A.5 Trigo

Los datos abarcan 25 semanas de las campañas 2022/23 y 2023/24, entre el 06-07-22 y el 21-12-22, y entre el 05-07-23 y el 21-12-23. Se omitieron las delegaciones de Formosa y Misiones por falta de datos, y las últimas 3 a 5 semanas de otras delegaciones por la misma razón.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.497492	0.022577	22.035	<2e-16 ***
HUM	0.502838	0.024292	20.700	<2e-16 ***
HUM.FEN	-0.000291	0.008865	-0.033	0.974

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1793 on 1755 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2265, Adjusted R-squared: 0.2256
F-statistic: 256.9 on 2 and 1755 DF, p-value: < 2.2e-16

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-0.012395	0.004575	-2.709	0.00681	**
logHUM	0.424962	0.053695	7.914	4.37e-15	***
logHUM.FEN	0.038410	0.043455	0.884	0.37687	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1909 on 1755 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2154, Adjusted R-squared: 0.2145

F-statistic: 240.9 on 2 and 1755 DF, p-value: < 2.2e-16