

BRECHAS DE RENDIMIENTO: ¿CUÁNTO SE DEBE A LA NUTRICIÓN Y AL MANEJO DE SUELOS?

Reussi Calvo^{1,2*} N.I., Studdert, G.A.,¹ Garcia, F.O.^{1,3}

¹Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP), ²CONICET, ³Consultor. *Ruta 226 km 73,5 (7620) Unidad Integrada Balcarce, Buenos Aires, nahuelreussicalvo@mdp.edu.ar

Los rendimientos de los principales cultivos extensivos de Argentina y, por ende, la **demand**
de nutrientes se ha incrementado en los últimos 20 años. La tasa de crecimiento de la
producción total de granos alcanzó 4,17 M t por año debida a la mayor participación del cultivo
de maíz en el escenario agrícola (Satorre y Andrade, 2021). Sin embargo, en la actualidad
existe una brecha entre los rendimientos actuales y los alcanzables en secano. Estas brechas,
del 35 al 50% (Andrade, J. comunicación personal), se deberían a múltiples causas, desde la
salud del suelo y su manejo hasta las prácticas de manejo del cultivo.

La falta de rotaciones con pasturas y/o la disminución de la frecuencia de gramíneas en la
rotación, sumado al bajo uso de fertilizantes, han producido una notable disminución de los
niveles de materia orgánica (MO) de los suelos de la Región Pampeana y, por lo tanto, la
oferta natural de nutrientes. De esta forma, dependiendo del tipo de suelo y textura, hoy en
día solo se presenta el 50% del nivel original de MO (Sainz Rozas et al., 2011). Los balances
de nutrientes en los cultivos han sido históricamente negativos en Argentina, es decir, la
remoción en granos supera a la aplicación. Esto ha generado **brechas de nutrientes**, definida
como la diferencia entre los nutrientes aplicados y aquéllos necesarios para lograr los
rendimientos alcanzables, de diferente magnitud según zona, lote y/o ambiente (**Figura 1**).

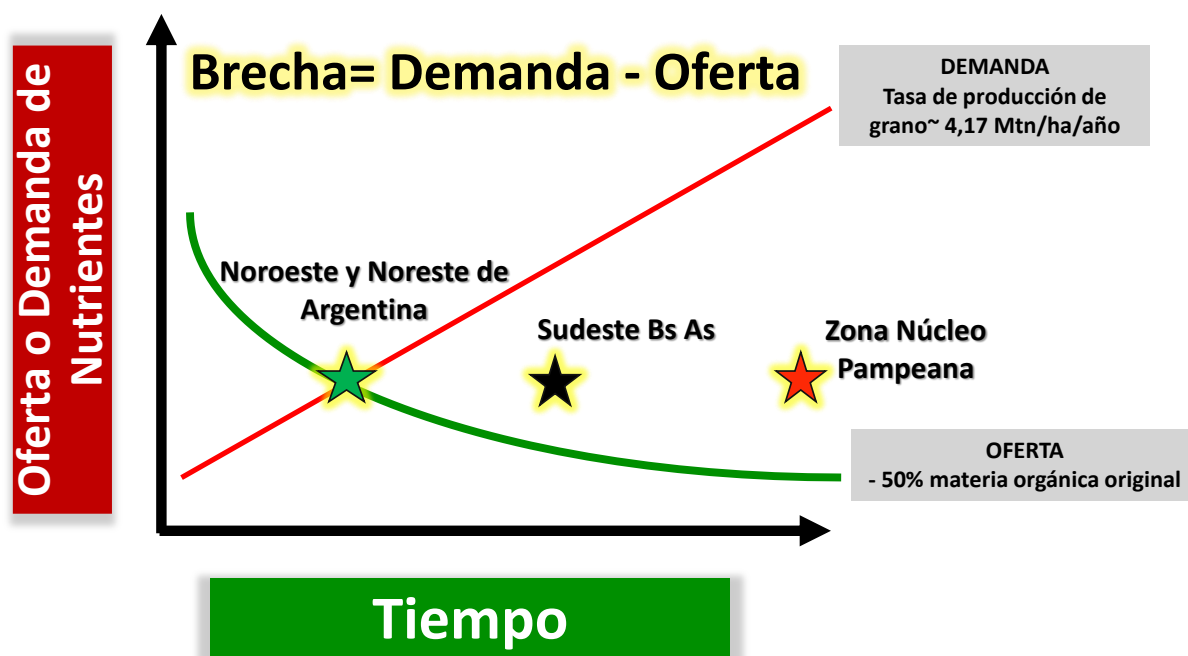


Figura 1. Esquema conceptual de la relación entre la oferta y demanda de nutrientes en Argentina en los últimos 50 años. Las estrellas indican a modo de ejemplo las brechas de nutrientes para diferentes zonas del país (Elaborado en base a Sainz Rozas et al., 2011 y Satorre y Andrade, 2021).

Las respuestas a la aplicación de nutrientes deficientes, en general nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), varía con el estado de salud del suelo (**Figura 2**). Se podrían definir tres escenarios de salud de suelo que afectarían diferencialmente las respuestas a los nutrientes, y se podrían relacionar con los años de agricultura continúa.

Escenario 1: Suelos con buena salud edáfica, la aplicación de nutrientes podría mejorar los rendimientos y la brecha de nutrientes se relacionaría con la disponibilidad de nutrientes. La eficiencia de uso de los nutrientes en esta situación es máxima.

Escenario 2: Suelos con degradación intermedia o parcial (i.e., compactaciones), la aplicación de nutrientes podría contribuir a disminuir los efectos negativos de condiciones inadecuadas para el crecimiento de raíces y reducir las brechas de rendimiento. Para que esto suceda, es necesario realizar acciones para revertir/solucionar los problemas de salud del suelo no asociados con fertilidad química (ej. control del tránsito, rotación con gramíneas, cultivos de servicios).

Escenario 3: Suelos severamente degradados, por erosión, compactación, salinización, pérdida de biodiversidad u otros, donde la aplicación de nutrientes tendría bajo impacto en reducir la brecha de rendimientos.

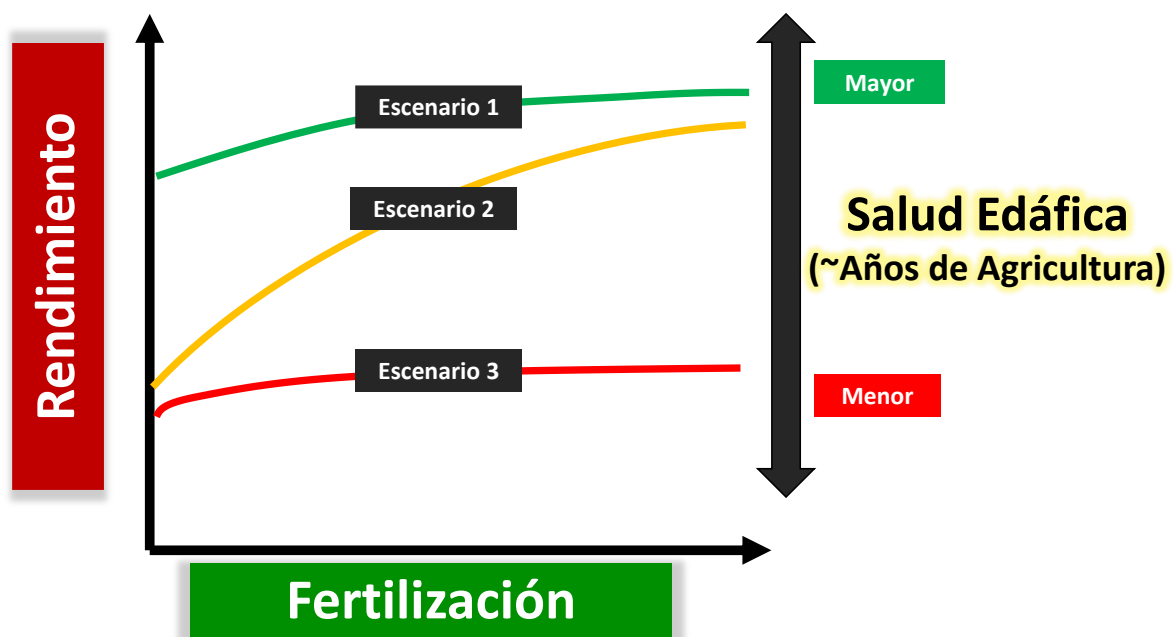


Figura 2. Esquema conceptual de la relación entre el rendimiento de los cultivos en función de los niveles de fertilización para suelos con diferente estado de salud del suelo (Adaptado de Tiftonell y Giller, 2012).

Entonces, en función de las **Figuras 1 y 2** nos podemos preguntar, ¿la brecha de nutrientes aumenta con los años de agricultura? A partir del análisis de la información generada por los ensayos de larga duración realizados en la Unidad Integrada Balcarce (Studdert, 2017), se estimó que la brecha de nutrientes se incrementó en forma lineal con los años de agricultura continúa (desde 0 a 15 años) a una tasa promedio de $2,8\% \text{ año}^{-1}$ en sistemas de labranza convencional y $4,4\% \text{ año}^{-1}$ en siembra directa (**Figura 3**). Este comportamiento se podría asociar con un **Escenario 1** (**Figura 2**) porque durante el período bajo estudio no se alcanzaron niveles de degradación física que limitaran la posibilidad de respuesta. No obstante, en los mismos experimentos, la estabilidad de agregados (indicador de salud física

de suelos) disminuyó de manera exponencial con los años de agricultura, particularmente en los primeros 5 años (**Figura 4**). Varios trabajos han demostrado un incremento de la respuesta en rendimiento al agregado de nutrientes con el aumento en los años de agricultura (Studdert, 2017; Ernst et al., 2018). Además, Ernst et al. (2016) y Tourn et al. (2019) observaron un mayor deterioro de la calidad física del suelo con el incremento de la proporción de cultivos anuales en la rotación. Esto indicaría que en el largo plazo el **Escenario 1** podría tender al **Escenario 2** (y en el peor de los casos, al **Escenario 3**) si a la aplicación de nutrientes no se la acompaña con otras prácticas de manejo para evitar el empeoramiento de la salud física de los suelos.

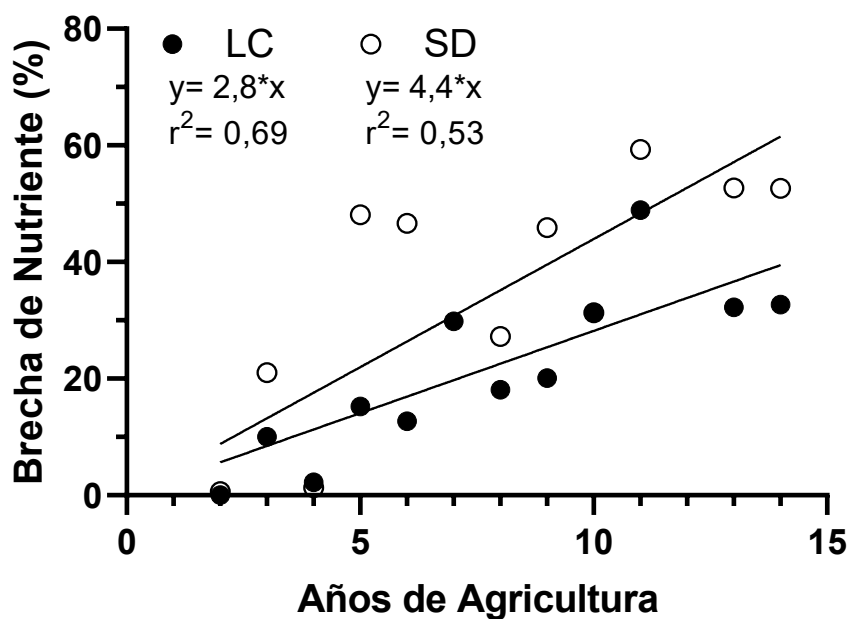


Figura 3. Brecha de nutriente en función de los años de agricultura bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Elaborado con base de datos de ensayos largo duración-Unidad Integrada Balcarce. (Elaborado de Studdert, 2017)

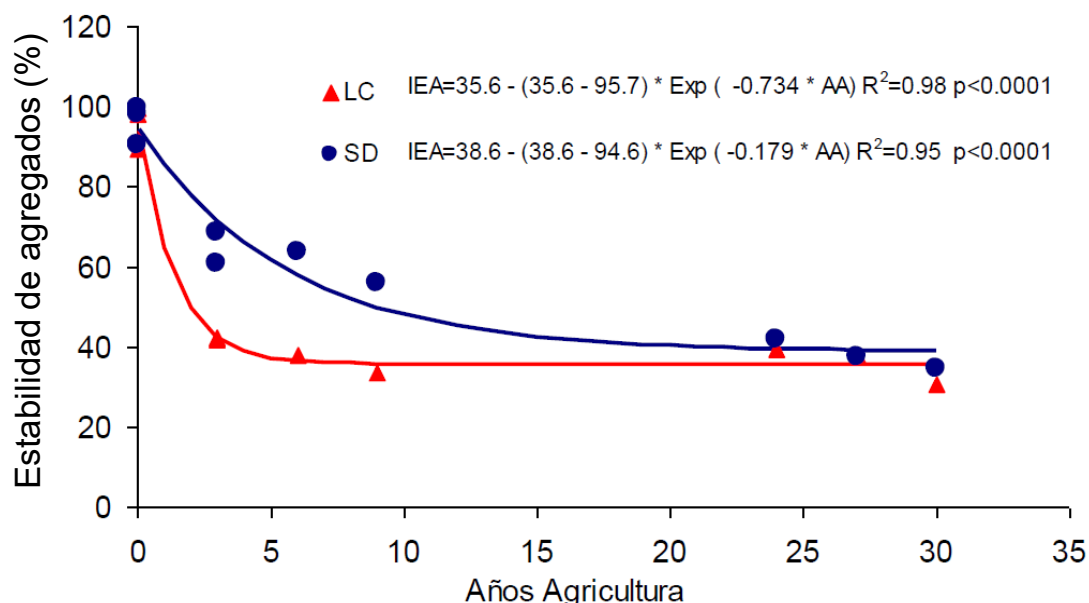


Figura 4. Estabilidad de agregados en función de los años de agricultura bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) (Fuente: Domínguez et al., 2008).

En la actualidad, la mayor parte de los lotes bajo producción agrícola de la Argentina presentan más de 15 años de agricultura (posible **Escenario 2**, **Figura 2**). En estas condiciones, investigaciones realizadas en ensayos en distintas zonas del país demostraron que la nutrición balanceada con NPS contribuye desde un 15% hasta un 47% de los rendimientos de soja, maíz o trigo (**Figura 5**). Sin embargo, como se mencionó, los balances de nutrientes en los cultivos han sido históricamente negativos en Argentina. Frente a esta situación, trabajos recientes proponen que la reposición de los niveles de N, P y S que se llevan los cultivos en grano permitirían reducir las brechas de rendimiento explorable. Esto se fundamenta en validaciones realizadas a nivel de lote de producción para maíz (n= 44), trigo (n=50) y soja (n=117), donde se compararon la dosis actual de nutrientes utilizada por el productor vs una fertilización de reposición. La respuesta promedio de rendimiento fue de 15% en maíz, 22% en trigo y 13% en soja (Monzón, comunicación personal). En línea con lo mencionado, ensayos de larga duración con fertilización de reposición acompañado de un cambio de la rotación hacia una intensificación con maíz-trigo/soja en el sudeste de Córdoba (Gudelj et al., 2017), muestran incrementos en el tiempo en el rendimiento de los tratamientos fertilizados, contribuyendo a la reducción de la brecha explorable luego de 10 años de nutrición balanceada (**Figura 6**). No obstante, la pregunta que surge de los mismos es si esto se debe a solo un efecto directo de la nutrición. A partir de la información de los mismos experimentos, se determinó que la nutrición por reposición junto a una rotación más adecuada tendió a mejorar la estabilidad de agregados con el tiempo (**Figura 7**), lo cual se explicaría por mejoras en el contenido de materia orgánica del suelo. Esto sugiere que, para las condiciones de un **Escenario 2**, la reducción de la brecha de rendimiento será explicada en mayor medida por el efecto combinado de la disponibilidad de nutrientes y la mejora de la salud edáfica. Otros autores han determinado que la aplicación de nutrientes (específicamente N) en una dosis óptima agronómica permite no solo maximizar el rendimiento en grano y el aporte de residuo sino también fijar más carbono; mientras que dosis excesivas (superiores al óptimo

económico), resultan externalidades negativas como menor fijación de carbono y contaminación de suelos, aire y aguas (Poffenbarger et al., 2017- **Figura 8**).

Respecto al **Escenario 3**, trabajos realizados en Brasil y África muestran ejemplos de suelos degradados en los cuales no se observan respuestas a nutrientes (Tiftonell y Giller, 2012). Este escenario podría ser cada vez más frecuente en los lotes bajo producción de la región pampeana Argentina. Se estima que un 30% del territorio argentino (unas 100 millones de ha) está afectado por erosión hídrica y eólica (Casas y Damiano, 2019) lo que lleva a una degradación muy difícilmente reversible. Según estos estudios, el deterioro registra una tasa de crecimiento de 200.000 ha por año.

En síntesis, buscando satisfacer una demanda creciente, reducir las brechas de rendimiento es un objetivo central. La “brecha de nutrientes” sería responsable de una buena parte de la brecha de rendimientos. *Sin embargo, para la mayor parte de los suelos bajo producción en la región pampeana, la reducción de la brecha de rendimiento sería explicada por el efecto combinado de la disponibilidad de nutrientes y la mejora de la salud edáfica.* Si buscamos una agricultura eficiente y efectiva de bajo impacto ambiental, la variabilidad de condiciones de suelo y disponibilidad de nutrientes y de manejo de suelos y de cultivos requiere de análisis y ajustes a escalas detalladas y con indicadores robustos. Finalmente, debe tenerse en cuenta que las necesidades de nutrientes pueden cubrirse con fertilizantes minerales, abonos orgánicos, bioinsumos y reciclados y a partir del manejo correcto del suelo que permita a los cultivos nutrirse en cantidad, tiempo y forma.

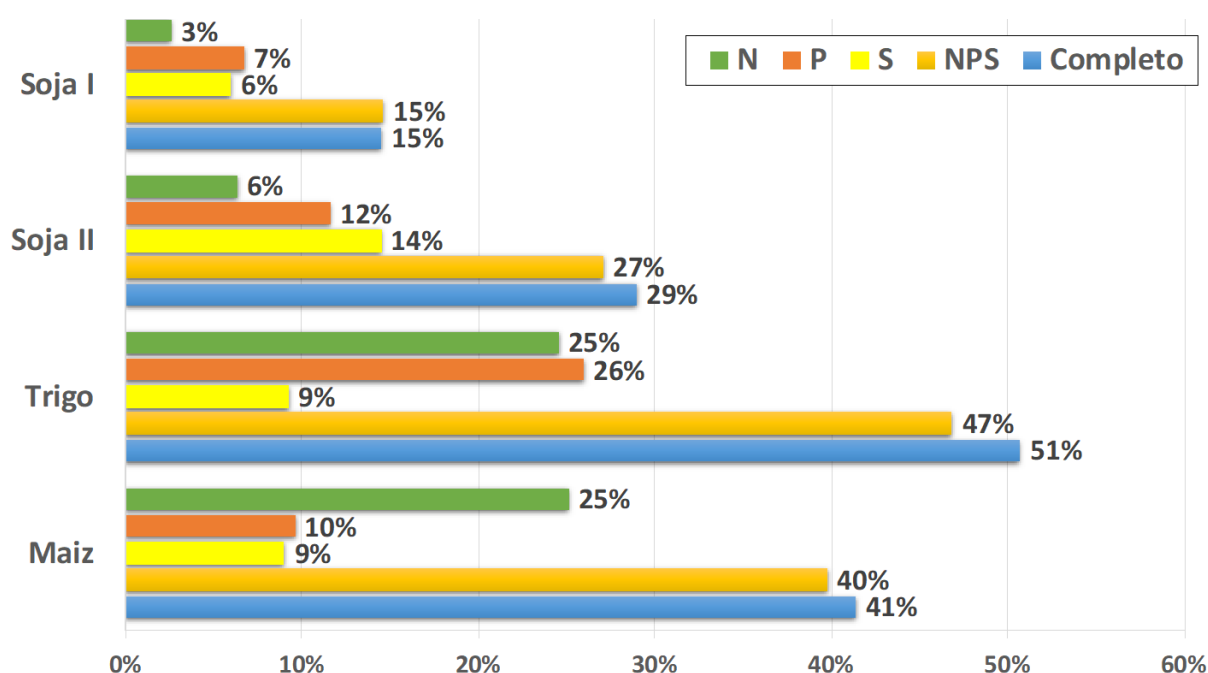


Figura 5. Contribución de la fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), NPS y NPS más micronutrientes (Completo) al rendimiento de diferentes cultivos (Fuente: Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, CREA Sur de Santa Fe-IPNI-Nutrien).

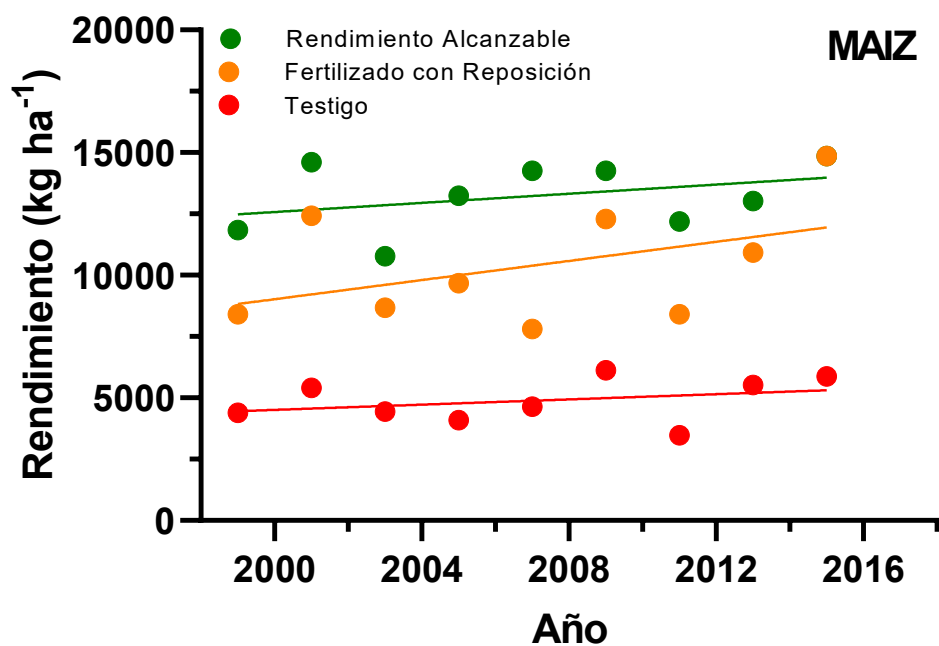


Figura 6. Evolución del rendimiento alcanzable, del tratamiento testigo y fertilizado con dosis de reposición para el cultivo de maíz, en experimentos de largo plazo (Fuente: Gudelj et al., 2017).

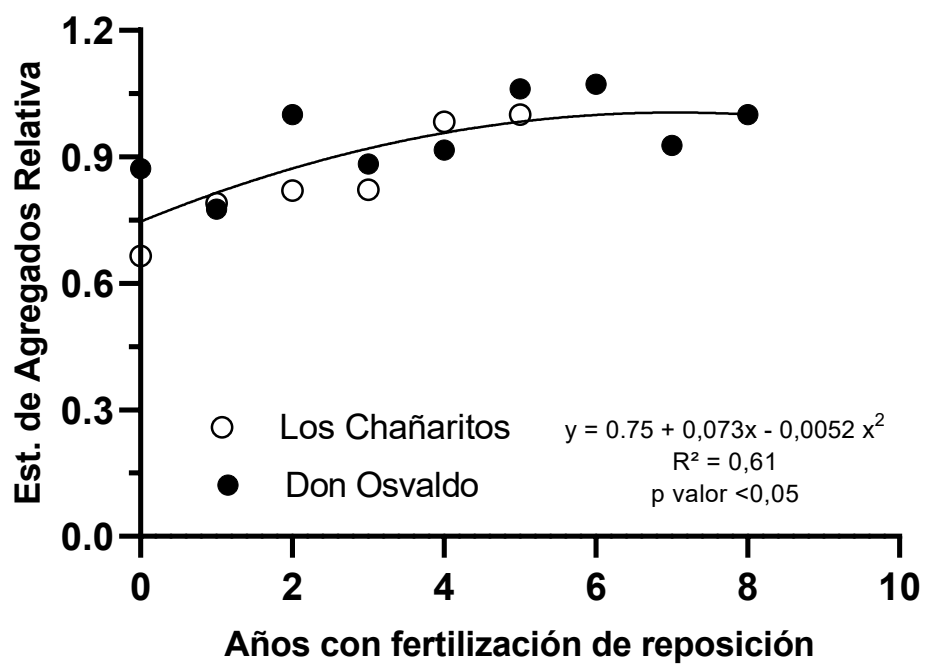


Figura 7. Relación entre la Estabilidad (Est.) de Agregados Relativa al máximo del experimento y los años de fertilización de reposición en experimentos de largo plazo (Elaborado de Gudelj et al., 2017).

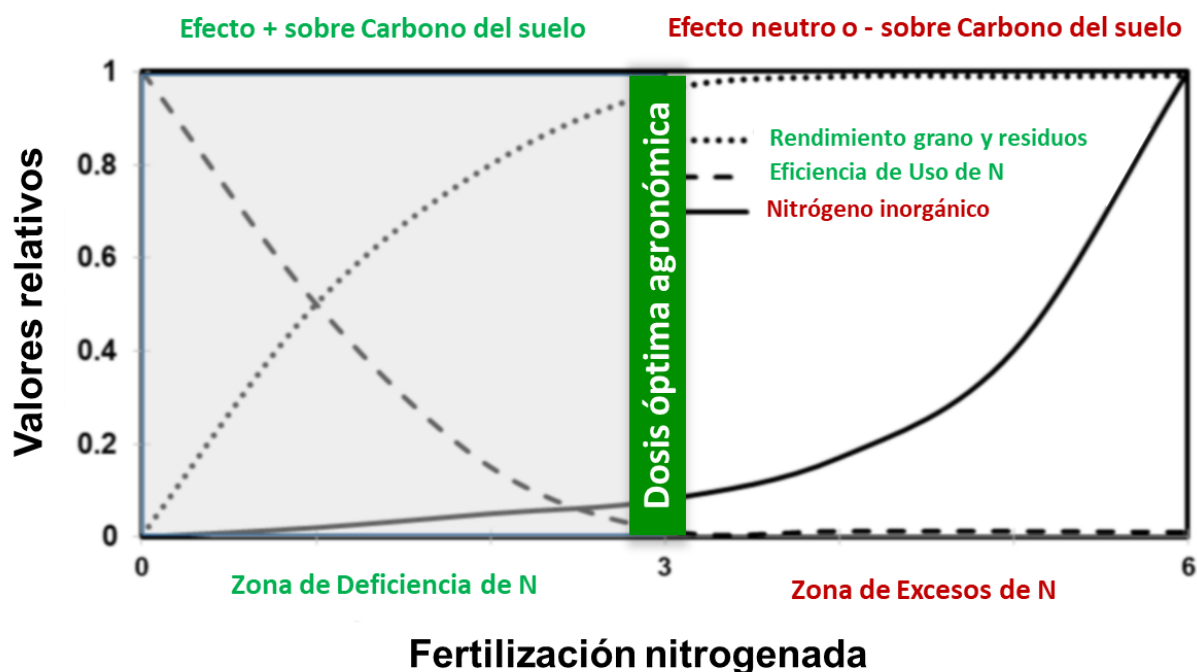


Figura 8. Relación conceptual entre la fertilización nitrogenada con el rendimiento, producción de residuos de maíz y nitrógeno inorgánico residual (Adaptado de Poffenbarger et al., 2017).

Referencias

- Casa, R. y F. Damiano. 2019. Buenas prácticas de conservación del suelo y del agua en Argentina. Pp. 53-84. En: R. Casas y F. Damiano (Eds). Manual de buenas prácticas de conservación del suelo y del agua. 1er edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 520p.
- Domínguez, GF; A Andersen & GA Studdert. 2008. Cambios en la estabilidad de agregados en distintos sistemas de cultivo bajo siembra directa y labranza convencional. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. En CD
- Ernst, O.R., Kemanian, A.R., Mazzilli, S.R., Cadenazzi, M., Dogliotti, S., 2016. Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-till agriculture suggest declining soil productivity. *Field Crops Res.* 186, 107–116.
- Ernst, O., Dogliotti, S., Cadenazzi, M., Kemanian, A., 2018. Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. *Field Crop Res. Research* 218, 180–187.
- Gudelj VJ; H Ghio; O Gudelj; C Lorenzon; B Conde; J.P. Leole; C Galarza; P Vallone; P Tamburrini y F García. 2017. Evaluación de reposición de nutrientes en experimentos de larga duración del Sudeste de Córdoba. Ensayos de larga duración en Argentina: un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables / Hugo Krüger ... [et al.]; compilado por Fernando Salvagiotti; Hugo Krüger ;Guillermo Studdert. - 1a ed . – Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017.
- Poffenbarger HJ, Barker DW, Helmers MJ, Miguez FE, Olk DC, et al. (2017) Maximum soil organic carbon storage in Midwest U.S. cropping systems when crops are optimally nitrogen-fertilized. *PLOS ONE* 12(3): e0172293. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172293>.

- Satorre, E. y F. Andrade. 2021. Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy, Volumen 29 número 173.
- Sainz Rozas, H., Echeverria, H.E., Angelini, H.P. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana Argentina. Ciencia del Suelo. 29: 29-37.
- Studdert, GA. 2017. Ensayos de larga duración de la Unidad Integrada Balcarce: un aporte al manejo de la fracción orgánica de los suelos del Sudeste Bonaerense. p. 235-266. / Hugo Krüger ... [et al.]; compilado por Fernando Salvagiotti; Hugo Krüger; Guillermo Studdert. - 1a ed. – Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017.
- Tittonel, P.A. y K. Giller. 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agricultura. Field Crops Research 143:76-90.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. Soil Till. Res. 195:104411. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104411>.