

Brechas de rendimiento de maíz en el oeste bonaerense: metodología de sustracción y adición

Rotili DH^{1,2*}; Batlle B¹; Isasti J³

1 América Agroinnova, Sarmiento 121, América, Buenos Aires, Argentina. *drotili@agro.unlpam.edu.ar

2 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, RN 35 km 334, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

3 Pioneer Semillas, Argentina.

Maize yield gaps in western Buenos Aires: subtraction and addition methodology

Abstract

Maize yield gaps can persist in highly productive environments, but the contribution of individual management practices remains uncertain. This study estimated water-limited yield potential (Y_w), actual yield (Y_a), and the yield gap (Y_g), and quantified the contribution of agronomic practices in western Buenos Aires, Argentina. A field experiment was conducted during the 2025/26 growing season using a randomized complete block design with four replicates. A combined omission–addition approach compared standard and high-technology management and evaluated plant density, genotype, fungicide, micronutrients, biological nitrogen fixers, nitrogen fertilization, and phosphorus–sulfur fertilization. Standard management yielded $13,824 \text{ kg ha}^{-1}$, whereas high-technology management yielded $15,484 \text{ kg ha}^{-1}$. The highest mean yield, considered Y_w , was $16,809 \text{ kg ha}^{-1}$, resulting in a Y_g of $2,985 \text{ kg ha}^{-1}$, equivalent to 17.8% of Y_w . However, treatment means did not differ significantly ($p = 0.17$). Averaged across omission and addition comparisons, the largest positive effects were associated with fungicide ($1,550 \text{ kg ha}^{-1}$), plant density ($1,198 \text{ kg ha}^{-1}$), and phosphorus–sulfur fertilization (845 kg ha^{-1}). Biological nitrogen fixers and micronutrients had smaller positive effects, whereas additional nitrogen had little effect. Narrowing maize Y_g depended on integrating crop protection, stand structure, and nutrient management rather than on a single practice. Multi-environment validation is required.

Palabras clave: rendimiento potencial limitado por agua; manejo agronómico; densidad; fertilización; fungicida.

Keywords: water-limited yield potential; agronomic management; plant density; fertilization; fungicide.

Introducción

La brecha de rendimiento (Y_g) se define como la diferencia entre el rendimiento potencial (Y_p) y el rendimiento actual (Y_a). El Y_p es el rendimiento que puede alcanzar un cultivar adaptado cuando crece sin limitaciones de agua ni nutrientes y con malezas, plagas y enfermedades efectivamente controladas; bajo esas condiciones, el rendimiento queda determinado por la radiación solar, la temperatura, la concentración de CO_2 y las características del genotipo que regulan la duración del ciclo, la intercepción de radiación y su conversión en biomasa y rendimiento (van Ittersum et al., 2013). En cultivos de secano, la referencia utilizada es el rendimiento potencial limitado por agua

(Yw), que incorpora el balance hídrico del cultivo como restricción al crecimiento. Por ello, el Yw depende, además, de las precipitaciones, el agua almacenada en el perfil, la capacidad del suelo para retener y suministrar agua, la profundidad efectiva explorada por las raíces, el escurrimiento, el drenaje y la demanda atmosférica durante el ciclo (van Ittersum et al., 2013). En este marco, Yg en secano se interpreta como la diferencia entre el Yw y el Ya.

Desde una perspectiva agronómica, las Yg surgen cuando la interacción entre genotipo, ambiente y manejo (GxAxM) no permite alcanzar el Yw en un lote de producción determinado. Los rendimientos más altos se observan consistentemente en sistemas con paquetes de manejo integrados y oportunos, lo que indica que la Yg emerge cuando el cultivo recibe menos recursos, o en momentos menos eficientes, de lo necesario para expresar su potencial (Grassini et al., 2011; Rattalino Edreira et al., 2017; Mourtzinis et al., 2018). La productividad es máxima cuando GxAxM actúan de forma complementaria, mientras que cualquier desalineamiento entre estos componentes se traduce en pérdidas de rendimiento (Mahmood et al., 2022). En este marco, las Yg reflejan la fracción del Yw que no se captura en condiciones reales como resultado de limitaciones (factores abióticos, principalmente nutrientes) y factores reductores (bióticos, como plagas y enfermedades) que operan sobre el cultivo a lo largo del ciclo y parten de desajustes del manejo agronómico (Mueller et al., 2012). En consecuencia, resulta central identificar los principales factores limitantes y reductores del rendimiento y cuantificar su contribución relativa a la Yg.

En maíz (*Zea mays* L.), los antecedentes muestran que la porción no capturada del Yw se relaciona principalmente con prácticas que definen la estructura del cultivo, la provisión de nutrientes y el manejo de factores reductores. En sistemas de alta productividad, las diferencias de Ya fueron asociadas con la fecha de siembra, la densidad, la elección del híbrido, la rotación, la fertilización nitrogenada y el manejo sanitario, evidenciando que la reducción de Yg depende de paquetes de manejo ajustados al ambiente más que de decisiones aisladas (Grassini et al., 2011; Rattalino Edreira et al., 2017; Mourtzinis et al., 2018). En Argentina, las estimaciones de Yg en maíz indican un margen relevante de mejora respecto del Yw, con variación entre regiones y campañas (Aramburu Merlos et al., 2015). Trabajos locales mostraron que la respuesta a prácticas como densidad, genotipo y manejo sanitario cambia según ambiente y fecha de siembra, reforzando la necesidad de evaluar los factores de manejo dentro del contexto productivo en el que se aplican (Vitantonio-Mazzini et al., 2020). En el oeste arenoso pampeano (estaciones climáticas de General Villegas y General Pico), el Yw promedio estimado es de 13895 kg ha⁻¹ y la Yg de 5510 kg ha⁻¹.

Cuando el interés es identificar qué prácticas explican la Yg, la comparación entre Yw y Ya debe complementarse con diseños experimentales que permitan atribuir parte de esa diferencia a factores de manejo específicos. Una metodología propuesta para evaluar la contribución del manejo agronómico sobre la reducción de Yg es la de sustracción y adición (Ruffo et al., 2015). Esta metodología parte de dos tratamientos de referencia: un manejo estándar, representativo de una condición tecnológica de menor intensificación, y un manejo de alta tecnología, utilizado como referencia experimental de mayor intensificación. A partir de esos controles, cada factor se evalúa en dos contextos complementarios: por sustracción, retirándolo individualmente del manejo de alta tecnología, y por adición, incorporándolo individualmente al manejo estándar. De

esta manera, se evita la complejidad de un diseño factorial completo con múltiples factores y, al mismo tiempo, se obtiene una estimación ordenada del aporte relativo de cada práctica al cierre de la brecha. Esta valiosa aproximación nunca fue utilizada en el país para evaluar Y_w y Y_g .

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue estimar el Y_w y la Y_g de maíz en un ambiente de alta productividad potencial esperada del oeste bonaerense mediante una metodología combinada de sustracción y adición de factores de manejo. Además, se buscó cuantificar la contribución relativa de prácticas agronómicas vinculadas con la estructura del cultivo, la nutrición y la reducción de estreses bióticos, incluyendo densidad, genética, fungicida, micronutrientes, fijadores biológicos de N, fertilización nitrogenada y fertilización fosfatada-azufrada.

Materiales y métodos

Se realizó un experimento durante la campaña 2025/26 en el campo experimental de América Agroinnova, ubicado en América, oeste de la provincia de Buenos Aires. El sitio correspondió a un ambiente de alta productividad, con suelo franco arenoso y 46,8 % de arena, 13,0 % de arcilla y 40,3 % de limo en el estrato 0-20 cm. A la siembra, la disponibilidad de P (Bray 1, 0-20 cm) era de 18 ppm, de Zn (0-20 cm) 0,4 ppm, de Bo (0-20 cm) 0,6 ppm y de N-nitratos (0-60 cm) 90 kg ha⁻¹. A la emergencia del cultivo, la disponibilidad de agua útil en el perfil (0-200 cm) era de 225 mm.

Se utilizó una metodología combinada de sustracción y adición de factores de manejo, basada en el enfoque utilizado por Ruffo et al. (2015). El ensayo incluyó dos tratamientos de referencia: Alta tecnología y Tecnología estándar. La Tecnología estándar representó prácticas habituales de manejo en la región a partir del relevamiento con productores participantes de la mesa de agronomía de América Agroinnova y la Sociedad Rural de Rivadavia, mientras que la Alta tecnología integró mayores niveles de densidad, nutrición y protección del cultivo, junto con tecnologías complementarias, con el objetivo de reducir la probabilidad de limitaciones nutricionales y factores reductores del rendimiento. Los factores evaluados fueron densidad, fungicida, genética, micronutrientes, bacterias fijadoras de N, fertilización nitrogenada y fertilización fosfatada-azufrada, con dos niveles tecnológicos para cada uno de ellos (Tabla 1). A partir de estos niveles se construyeron 16 tratamientos: dos controles de referencia, siete tratamientos de sustracción y siete tratamientos de adición. En los tratamientos de sustracción se retiró individualmente un factor del manejo de Alta tecnología, manteniendo el resto de las prácticas en el nivel intensificado. En los tratamientos de adición se incorporó individualmente un factor a la Tecnología estándar, manteniendo el resto de las prácticas en el nivel estándar.

El cultivo de maíz se sembró el 3 de octubre de 2025, con una sembradora con cuerpos de precisión y un distanciamiento entre surcos de 70 cm. El ensayo se condujo bajo un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Las parcelas tuvieron cuatro surcos de ancho por 8 m de largo, con una superficie total de 22,4 m². La cosecha se realizó manualmente sobre 7 m² por parcela y el material fue trillado posteriormente con máquina estacionaria. Luego de estimar la humedad del grano con humidímetro, el rendimiento fue corregido a 14,5% de humedad y expresado en kg ha⁻¹.

El Y_w estimado se definió como el rendimiento del tratamiento con el máximo rendimiento promedio aritmético, mientras que el Y_a se representó mediante el

rendimiento promedio de la Tecnología estándar. La Yg se calculó como la diferencia entre ambos valores. Se realizó una comparación de medias múltiples mediante prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) para evaluar las diferencias entre los rendimientos del tratamiento que generó el Yw, del tratamiento de Alta tecnología y del tratamiento de Tecnología estándar. Para cada factor de manejo, el efecto por sustracción se estimó como la diferencia entre Alta tecnología y el tratamiento de Alta tecnología sin dicho factor, mientras que el efecto por adición se calculó como la diferencia entre el tratamiento de Tecnología estándar con el factor incorporado y la Tecnología estándar. Finalmente, el efecto promedio de cada factor se obtuvo como el promedio entre los efectos estimados por sustracción y por adición.

Tabla 1. Niveles tecnológicos definidos para cada factor de manejo evaluado en el ensayo de brechas de rendimiento de maíz. La alta tecnología representa el manejo intensificado, mientras que la tecnología estándar representa el nivel utilizado como referencia estándar para la metodología de adición y sustracción de factores. SFT: superfosfato triple. Amistar Xtra: azoxistrobina + cyproconazole. Starter Plus: contiene Zn + Co + B + Mn. Blue N: Methylobacterium symbioticum SB23. Azufertil: Sulfato de Calcio perlado.

Factor de manejo	Alta tecnología	Tecnología estándar
Densidad	90000 sem ha ⁻¹	75000 sem ha ⁻¹
Fungicida	Amistar Xtra 500 cc ha ⁻¹ en V12	Sin fungicida
Genética	P2021 PWUE	P1669 VYHR
Micronutrientes	Starter Plus 3 l ha ⁻¹ V6	Sin micronutrientes
Fijadores de N	Blue N 333 g ha ⁻¹ V6	Sin fijadores de N
Nitrógeno	315 kg ha ⁻¹ Urea en V4	230 kg ha ⁻¹ Urea en V4
Fósforo + Azufre	100 kg ha ⁻¹ SFT pre-siembra + 130 kg ha ⁻¹ SFT siembra + 150 kg ha ⁻¹ azufertil V2	100 kg ha ⁻¹ SFT siembra, Sin azufre aplicado

Resultados

Las precipitaciones durante el ciclo fueron de 378 mm, sumando 603 mm totales de agua disponible para el cultivo entre agua útil a la siembra y precipitaciones. El rendimiento de la Tecnología estándar fue de 13824 kg ha⁻¹, mientras que el tratamiento de Alta tecnología alcanzó 15484 kg ha⁻¹. La diferencia entre ambos tratamientos de referencia fue de 1661 kg ha⁻¹. Sin embargo, el máximo rendimiento promedio del ensayo se observó en el tratamiento Alta tecnología - Genética, con 16809 kg ha⁻¹. Considerando este valor como rendimiento potencial estimado, la Yg respecto de la Tecnología estándar fue de 2985 kg ha⁻¹ (Tabla 2). No obstante, cabe destacar que, a partir de la comparación de medias múltiples, las medias de los tratamientos no fueron diferentes entre sí en ningún caso ($p = 0,17$).

Tabla 2. Rendimiento actual estimado (Y_a), rendimiento de Alta tecnología (Y Alta tecnología), rendimiento potencial estimado (Y_w) y brecha de rendimiento (Y_g) de maíz en el ensayo. Los valores de rendimiento se indican a 14,5% de humedad relativa. Se indica el resultado de la comparación de medias múltiples (Tukey, $\alpha = 0,05$) entre los tratamientos seleccionados. El valor entre paréntesis al lado de la media del rendimiento indica el error estándar.

Nivel de rendimiento	Tratamiento de referencia	Rendimiento (kg ha^{-1})	Comparación de medias (p Tratamiento = 0,17)
Y_a	Tecnología estándar	13824 (257)	A
Y Alta tecnología	Alta tecnología	15484 (223)	A
Y_w estimado	Alta tecnología - Genética	16809 (1791)	A
Y_g	Potencial estimado - Y_a	2985 (1682)	-

En el análisis por sustracción, la mayor reducción de rendimiento se observó al retirar la fertilización fosfatada-azufrada del manejo de Alta tecnología, con una disminución de 1917 kg ha^{-1} . Le siguieron la sustracción del fungicida y de la densidad, con reducciones de 1586 y 1323 kg ha^{-1} , respectivamente. La sustracción de fijadores biológicos de N redujo el rendimiento en 545 kg ha^{-1} y la de micronutrientes en 171 kg ha^{-1} . En cambio, la sustracción de N no redujo el rendimiento respecto de Alta tecnología, con efecto de -304 . El cambio de genética hacia un híbrido a priori catalogado como poco adaptado a la región generó un impacto de 1325 kg ha^{-1} , es decir, el híbrido de tecnología estándar presentó mayor rendimiento por sustracción que el utilizado en el tratamiento de alta tecnología (Tabla 3).

En el análisis por adición, el mayor incremento de rendimiento se obtuvo con la incorporación del fungicida a la Tecnología estándar, con una respuesta de 1514 kg ha^{-1} . La adición de densidad aumentó el rendimiento en 1074 kg ha^{-1} , mientras que la incorporación de fijadores biológicos de N, N y micronutrientes generó incrementos de 749 , 368 y 294 kg ha^{-1} , respectivamente. En contraste, la adición de genética y de fertilización fosfatada-azufrada no aumentó el rendimiento respecto de la Tecnología estándar, con efectos de -167 y -227 kg ha^{-1} , respectivamente. Así, de manera similar al comportamiento observado bajo el mecanismo de sustracción, el mecanismo de adición permitió cuantificar un mayor rendimiento en el híbrido a priori considerado como de menor adaptación regional (Tabla 3).

Al promediar los efectos estimados por sustracción y adición, los factores con mayor contribución positiva fueron fungicida, densidad y fertilización fosfatada-azufrada. El fungicida presentó el mayor efecto promedio, con 1550 kg ha^{-1} , seguido por densidad, con 1198 kg ha^{-1} , y fósforo + azufre, con 845 kg ha^{-1} . Los fijadores biológicos de N mostraron un efecto promedio de 647 kg ha^{-1} y los micronutrientes de 232 kg ha^{-1} . La fertilización nitrogenada presentó un efecto promedio cercano a cero, con 32 kg ha^{-1} . La genética presentó un efecto promedio negativo de -746 kg ha^{-1} , es decir, el híbrido a priori considerado como poco adaptado a la región generó un mayor rendimiento que el a priori considerado como de mayor adaptación (Tabla 3). Nuevamente, cabe destacar

que el análisis de comparación de medias múltiples no evidenció diferencias entre tratamientos.

Tabla 3. Rendimiento de maíz corregido a 14,5% de humedad relativa para los tratamientos de Alta tecnología, Tecnología estándar y sus respectivas combinaciones de sustracción y adición de factores de manejo. Los valores ubicados en las columnas de cada factor indican el efecto sobre el rendimiento respecto del tratamiento de referencia correspondiente: Alta tecnología para los tratamientos de sustracción y Tecnología estándar para los tratamientos de adición. El efecto promedio corresponde al promedio entre ambos enfoques para cada factor.

Tratamiento	Rendimiento 14,5% HR (kg/ha)	Densidad	Fungicida	Genética	Micronut.	Fijadores N	Nitróg.	Fósf.+Azuf.
Alta Tecnología	15484							
Alta Tecnología - Densidad	14161	1323						
Alta Tecnología - Fungicida	13899		1586					
Alta Tecnología - Genética	16809			-1325				
Alta Tecnología - Micronut.	15313				171			
Alta Tecnología - Fijadores N	14939					545		
Alta Tecnología - Nitróg.	15789						-304	
Alta Tecnología - Fósf.+Azuf.	13567							1917
Tecnología Estándar	13824							
Tecnología Estándar + Densidad	14897	1074						
Tecnología Estándar + Fungicida	15337		1514					
Tecnología Estándar + Genética	13656			-167				
Tecnología Estándar + Micronut.	14117				294			
Tecnología Estándar + Fijadores N	14572					749		
Tecnología Estándar + Nitróg.	14191						368	
Tecnología Estándar + Fósf.+Azuf.	13596							-227
Efecto Promedio		Densidad 1198	Fungicida 1550	Genética -746	Micronut. 232	Fijadores N 647	Nitróg. 32	Fósf.+Azuf. 845

Discusión y Conclusiones

La metodología combinada de sustracción y adición permitió estimar la Yg de maíz e identificar la contribución relativa de distintos factores de manejo en un ambiente de alta productividad del oeste bonaerense. En las condiciones del ensayo, el Ya representado por la Tecnología estándar fue de 13824 kg ha⁻¹, mientras que el rendimiento potencial estimado alcanzó 16809 kg ha⁻¹. Si bien no existieron diferencias significativas en las medias entre tratamientos, se determinó una Yg más probable de 2985 kg ha⁻¹, indicando un margen relevante de mejora productiva aun en un ambiente con alto nivel de rendimiento bajo el manejo típico de productor. Ese nivel de Yg estimado representa un 17,8% respecto del Yw y 22,6% de aumento respecto de Ya.

La Yg no se explicó por un único factor, sino por la combinación de prácticas que modificaron la estructura del cultivo, la provisión de recursos y la reducción de estreses bióticos. Este resultado es consistente con el enfoque G × A × M, según el cual la expresión del rendimiento depende de la interacción entre genotipo, ambiente y manejo, y no de prácticas evaluadas de manera aislada (Grassini et al., 2011; Rattalino Edreira et al., 2017). En este sentido, los mayores efectos promedio correspondieron al fungicida y a la densidad, con respuestas de 1550 y 1198 kg ha⁻¹, respectivamente, lo

que sugiere que la protección sanitaria y el ajuste de la estructura del cultivo fueron prácticas centrales para capturar una mayor proporción del rendimiento potencial estimado.

La respuesta positiva a la densidad coincide con antecedentes que señalan que el aumento de la densidad puede contribuir a reducir Yg en maíz cuando el ambiente y el resto del manejo permiten sostener una mayor demanda de recursos en situaciones de alta oferta hídrica (Grassini et al., 2011; Ruffo et al., 2015). De manera similar, el efecto del fungicida fue consistente con trabajos que identificaron al manejo sanitario como una práctica relevante para sostener el rendimiento, especialmente cuando se integra en planteos de alta productividad (Ruffo et al., 2015). En este experimento, ambos factores mostraron efectos positivos tanto por sustracción como por adición, reforzando su importancia dentro del ambiente evaluado.

La fertilización fosfatada-azufrada presentó un efecto promedio positivo de 845 kg ha⁻¹, aunque con respuestas contrastantes entre metodologías. La sustracción de este factor desde Alta tecnología produjo la mayor caída de rendimiento, mientras que su adición individual a la Tecnología estándar no aumentó el rendimiento. Este comportamiento refuerza la idea de que la contribución de un factor puede depender del contexto tecnológico en el que se evalúa, tal como fue señalado por Ruffo et al. (2015). Por lo tanto, el aporte de P y S habría sido más relevante dentro de un paquete de manejo intensificado que como práctica aislada, siguiendo la ley del mínimo (Liebig, 1840).

Los fijadores biológicos de N y los micronutrientes mostraron efectos promedio positivos, aunque de menor magnitud que fungicida, densidad y fertilización fosfatada-azufrada. En cambio, la fertilización nitrogenada adicional presentó un efecto promedio prácticamente nulo. Este resultado no implica que el N no sea determinante para el rendimiento de maíz, ya que la nutrición nitrogenada es una de las principales limitantes modificables del cultivo a escala global (Mueller et al., 2012). Sin embargo, bajo las condiciones de este ensayo, el nivel de N de la Tecnología estándar y la oferta inicial del suelo habrían sido suficientes para sostener gran parte del rendimiento alcanzado.

La genética presentó un efecto promedio negativo, asociado al mayor rendimiento observado cuando se sustituyó el híbrido del manejo de Alta tecnología (P2021 PWUE) por el híbrido utilizado en la Tecnología estándar (P1669 VYHR). Este resultado debe interpretarse como una respuesta específica de los híbridos evaluados y no como una conclusión general sobre el efecto de la genética. El híbrido P1669 VYHR es de liberación posterior al mercado y, a pesar de considerarse previamente de menor adaptación en el oeste arenoso que P2021 PWUE, presenta mayor potencialidad. En términos agronómicos, refuerza la necesidad de evaluar la elección del híbrido dentro del ambiente y del nivel de manejo en que se lo utiliza.

En conjunto, los resultados muestran que la reducción de la Yg en este ambiente dependió principalmente de la integración de prácticas de manejo, más que de la respuesta aislada a un único factor. La metodología utilizada permitió estimar Yw, ordenar la contribución relativa de los factores evaluados y generar hipótesis agronómicas para futuras campañas. Además, experimentos de este tipo podrían ser utilizados localmente para evaluar la performance de modelos de simulación agronómica utilizados en estudios de Yw o Yg. Sin embargo, al tratarse de un único sitio y una única campaña, las conclusiones deben interpretarse como evidencia local. La

repetición del ensayo en otros ambientes y años permitirá evaluar la estabilidad de las respuestas y mejorar la identificación de los factores que explican las Yg de maíz en el oeste bonaerense.

Referencias

- Aramburu Merlos, F., Monzon, J. P., Mercu, J. L., Taboada, M., Andrade, F. H., Hall, A. J., Jobbagy, E., Cassman, K. G., & Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>
- Grassini, P., Thorburn, J., Burr, C., & Cassman, K. G. (2011). High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. *Field Crops Research*, 120(1), 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.09.012>
- Liebig, J. Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie (Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology) 1840 Friedrich Vieweg und Sohn Publ. Co Braunschweig, Germany
- Mahmood, T., Ahmed, T., & Trethowan, R. (2022). Genotype × environment × management (GEM) reciprocity and crop productivity. *Frontiers in Agronomy*, 4, 800365. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.800365>
- Mourtzinis, S., Rattalino Edreira, J. I., Grassini, P., Roth, A. C., Casteel, S. N., Ciampitti, I. A., Kandel, H. J., Kyveryga, P. M., Licht, M. A., Lindsey, L. E., Mueller, D. S., Nafziger, E. D., Naeve, S. L., Stanley, J., Staton, M. J., & Conley, S. P. (2018). Sifting and winnowing: Analysis of farmer field data for soybean in the US North-Central region. *Field Crops Research*, 221, 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.024>
- Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419), 254–257. <https://doi.org/10.1038/nature11420>
- Rattalino Edreira, J. I., Mourtzinis, S., Conley, S. P., Roth, A. C., Ciampitti, I. A., Licht, M. A., Kandel, H., Kyveryga, P. M., Lindsey, L. E., Mueller, D. S., Naeve, S. L., Nafziger, E. D., Specht, J. E., Stanley, J., Staton, M. J., & Grassini, P. (2017). Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.010>
- Ruffo, M. L., Gentry, L. F., Henninger, A. S., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2015). Evaluating management factor contributions to reduce corn yield gaps. *Agronomy Journal*, 107(2), 495–505. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0355>
- van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittone, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance: A review. *Field Crops Research*, 143, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
- Vitantonio-Mazzini, L. N., Borrás, L., Garibaldi, L. A., Pérez, D. H., Gallo, S., & Gambin, B. L. (2020). Management options for reducing maize yield gaps in contrasting sowing dates. *Field Crops Research*, 251, 107779. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107779>