

Brecha de rendimiento de maíz temprano y tardío en la región sudeste de Córdoba

Beccari, Antonella¹ y Videla Mensegue, Horacio²

¹ Pasante de investigación. ² INTA - AER Laboulaye.

videla.horacio@inta.gob.ar

Palabras clave: maíz – fecha de siembra - rendimiento

Introducción

Para el año 2050 se espera que la población mundial supere los 9 mil millones de personas lo cual requerirá un aumento estimado de 60% más de alimentos, fibras y combustibles. Este cambio demográfico significa que se necesitará un gran impulso en la productividad agrícola primaria actual y se estima que el 80% del aumento requerido podría provenir de la intensificación productiva (Sadras *et al.*, 2015). En Argentina, gran parte de los suelos con aptitud agrícola se encuentran en producción y las posibilidades de expandir el área productiva se ve limitada por la fragilidad de los ecosistemas y el riesgo ambiental que este acarrea. Por lo tanto, los mayores esfuerzos se orientan a aumentar la producción por unidad de superficie y alcanzar una intensificación sustentable (Salvagiotti *et al.*, 2016).

La región sudeste de Córdoba¹, abarca una superficie de alrededor de 2,4 millones de hectáreas en donde conviven condiciones productivas, socio-económicas y ambientales muy diferentes. El abanico de ambientes, abarca suelos de muy buena productividad (Hapludoles énticos a Argiudoles típicos) ubicados en las planicies altas y suelos asociados a las planicies bajas con problemas de hidrohalomorfismo y una capa freática con salinidad y sodicidad variable (Titonell, 2004). En la actualidad, el 65% de la superficie cultivable es usada para la producción de cultivos anuales de cosecha con un predominio de soja y maíz (de Prada y Penna, 2009). El rendimiento promedio de las últimas tres campañas agrícolas de esta región fueron 3,4 y 7,8 t ha⁻¹ para soja y maíz, respectivamente (MAYG, 2017). En este escenario, el análisis de las brechas de rendimiento de los principales cereales y oleaginosas resulta una herramienta clave para determinar los factores que están limitando la productividad de los cultivos. La correcta cuantificación de los rendimientos que se están logrando a nivel de productor y los posibles de alcanzar constituye uno de los primeros pasos para efficientizar el uso de recursos y consecuentemente con ello, incrementar la producción regional.

Diversos estudios generaron información acerca de los rendimientos potenciales y brechas de producción de los diferentes cultivos empleando distintos métodos (Sadras *et al.*, 2015). Una de las metodologías más utilizadas para tal fin es la simulación de cultivos. Grassini *et al.*, (2011) utilizaron un modelo de simulación que requiere valores diarios de radiación solar y temperatura máxima y mínima para simular el rendimiento potencial de maíz en la región centro sur de Nebraska, USA. Ellos estimaron un

¹ La región sudeste de Córdoba comprende los departamentos Roque Sáenz Peña y parte de Juárez Celman, Unión, Marcos Juárez y General Roca.

potencial de rendimiento promedio de 15,4 t ha⁻¹ utilizando para la simulación las prácticas actuales de manejo promedio de los agricultores. También Laborte *et al.*, (2012) estimaron los rendimientos potenciales de arroz y las brechas de rendimiento en cuatro regiones del sudeste de Asia utilizando un modelo que aplica tasas de desarrollo de cultivos calculadas a partir de las etapas fenológicas observadas, las formas de establecimiento de cultivos y las fechas de siembra promedios reales de los agricultores. A raíz del desarrollo de diferentes técnicas para el cálculo de los rendimientos potenciales y de estimación de brechas de producción, Van Ittersum *et al.*, (2013) evaluaron las implicaciones del uso de diferentes métodos basados en los rendimientos simulados o reales para la evaluación de la brecha de rendimiento a nivel local. Ellos encontraron que el modelado de cultivos fue la forma más confiable de estimar el rendimiento potencial y el rendimiento limitado por agua para un cultivo específico. El objetivo de este trabajo estuvo centrado en cuantificar el rendimiento potencial, limitado por agua y el obtenido a campo por los productores e identificar las brechas de rendimiento de los cultivos de maíz temprano y tardío de la región sudeste de Córdoba.

Metodología

2.1. Análisis de las brechas de rendimiento

El análisis de las brechas de rendimiento de los cultivos fue realizado con la metodología de Verdoodt y Van Ranst (2003). La misma basa su análisis en la cuantificación de cuatro niveles de rendimiento: a) potencial (Rp), b) limitado por agua (Ra), c) limitado por nutrientes, y d) rendimiento real (Rr). El rendimiento potencial de los cultivos es aquel que alcanza la máxima producción posible en las mejores condiciones ambientales (radiación solar y temperatura) y sin limitaciones de agua, nutrientes, plagas o enfermedades (Figura 1). El rendimiento limitado por agua es el obtenido en función de los suelos y el régimen de precipitaciones del sitio de análisis, y sin limitaciones de nutrientes y adversidades biológicas o abióticas. De igual forma, el rendimiento limitado por nutrientes es el obtenido según el tipo de suelo, régimen de precipitaciones y disponibilidad de nutrientes sin limitantes por adversidades biológicas o abióticas. Finalmente, el rendimiento real es el obtenido por los productores bajo las condiciones ambientales y el manejo que los mismos realizan (Llobell *et al.*, 2009).

En este estudio se cuantificó el rendimiento potencial, limitado por agua y real. Los primeros dos se determinaron utilizando un modelo de simulación de cultivos SWB (ver sección 2.2.) y el rendimiento real a través de datos de lotes de producción.

2.1. Modelo de simulación SWB

Para el cálculo de las brechas de producción se utilizó el modelo de simulación de cultivos SWB (Soil Water Balance, Marcos, 1997). El SWB es un modelo de paso diario, multi cultivo y multi anual que modela los principales componentes del balance hídrico en el sistema suelo – planta – atmósfera. Está escrito en Visual Basic para Aplicaciones (VBA) en Microsoft Excel®. SWB fue calibrado y utilizado para analizar algunos procesos biofísicos en los sistemas agrícolas de la región pampeana. La calibración y validación de SWB para maíz en las condiciones ambientales de la pampa sub húmeda Argentina fue realizada por Videla Menesegue *et al.*, (2016). Una descripción detallada del modelo puede ser consultada en Marcos (1997). Para la simulación del crecimiento del cultivo se requiere ingresar datos de suelo, clima, cultivo y manejo. Los parámetros de suelo requeridos son morfológicos (profundidad y textura de los principales

horizontes), parámetros hidráulicos (capacidad de campo y marchitez permanente) y de escurrimiento superficial (curva número). Con relación a los datos climáticos, es necesario ingresar la temperatura mínima y máxima, radiación solar y precipitación diaria.

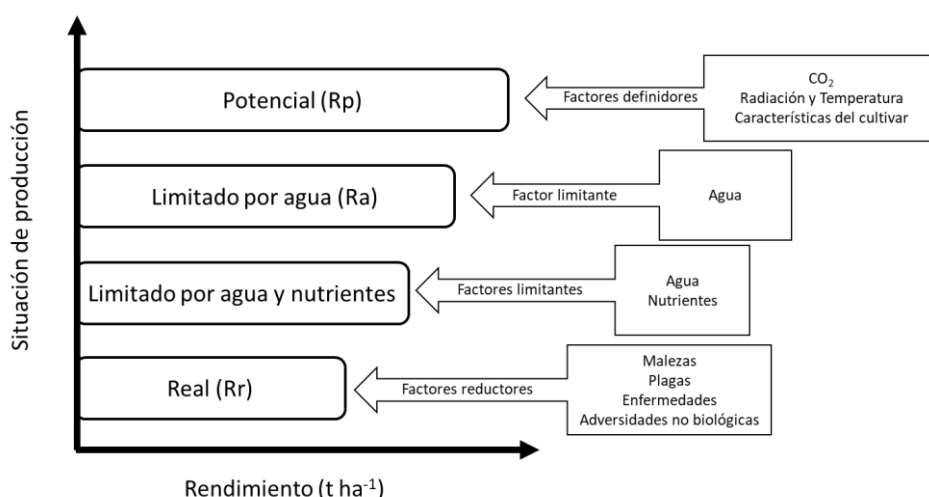


Figura 1. Situación de rendimiento de los cultivos: Rendimiento Potencial (Rp), Rendimiento limitado por agua (Ra), Rendimiento limitado por agua y nutrientes, y Rendimiento real (Rr). Fuente: adaptado de Llobell *et al.* (2003).

El crecimiento del cultivo se estima con un enfoque dual el cual consiste en el mínimo del crecimiento en biomasa limitado por la disponibilidad de radiación solar y por transpiración (Stockle y Kemanian, 2004). El enfoque dual permite que la acumulación de biomasa se estime más conservadoramente en condiciones de moderado a alto déficit de presión de vapor y donde la productividad es limitada mayormente por restricciones hídricas (Videla Mensegue *et al.*, 2016). El crecimiento limitado por radiación solar es una función de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada por el dosel y un coeficiente de conversión de PAR a biomasa denominado eficiencia de uso de la radiación (e) (Monteith y Moss, 1977). El crecimiento limitado por agua se determina de acuerdo a la función desarrollada por Tanner y Sinclair (1983) la cual relaciona el agua transpirada por el cultivo con la eficiencia de uso de la transpiración. La biomasa particionada a las partes reproductivas del cultivo, determina el rendimiento y depende del coeficiente de partición durante las etapas reproductivas. Estos parámetros son ingresados como característicos de cada cultivo.

2.2. Escenarios simulados

Se simuló los cultivos de maíz temprano y tardío respetando los manejos típicos de la región. La información ingresada para realizar la simulación fue: fecha de comienzo y fin de la simulación y fecha normal de siembra para cada cultivo (Tabla 1). Para las simulaciones se utilizó una serie de datos climáticos de Laboulaye simulándose un período de 10 años. El suelo simulado fue un Haplustol udorténtico, que representa el suelo agrícola típico de la región sudeste de Córdoba y no se simuló la presencia de la capa freática.

Tabla 1. Fechas utilizadas en la simulación de los cultivos de maíz temprano y tardío.

Cultivo	Inicio de Simulación	Fecha de siembra	Fin de simulación
Maíz temprano	01/09	15/09	05/06
Maíz tardío	25/11	05/12	30/08

La estimación del R_p fue obtenida modificando la eficiencia de uso de la transpiración para que la limitante de la producción sólo estuviese determinada por la disponibilidad de radiación solar. El rendimiento limitado por agua (R_a) fue estimado utilizando la eficiencia de uso de la transpiración ajustada para las condiciones experimentales de la región Pampeana sub-húmeda Argentina (Videla Menesegue *et al.*, 2016). Posteriormente se realizó el promedio de las simulaciones considerando la totalidad de los resultados obtenidos en los años simulados. El rendimiento real (R_r) de lotes de producción fue obtenido de las bases de datos de AACREA zona Centro. Estas bases contienen datos de producción, manejo y características ambientales de los lotes de producción para trigo, soja y maíz de las campañas agrícolas 2005/06 a la 2016/17. Para este estudio, se utilizaron los rendimientos promedios de los cultivos de maíz temprano y tardío obtenidos en la zona sudeste de Córdoba.

Resultados y discusión

3.1. Rendimiento potencial, limitado por agua y real para maíz

La Tabla 2 sintetiza los resultados de rendimientos potenciales y limitados por agua obtenidos a través de la simulación y logrados por los productores. Para maíz temprano y tardío el rendimiento potencial limitado por la disponibilidad de radiación solar se encuentra alrededor de las 30 t ha⁻¹ siendo algo superior para maíz temprano en comparación del tardío. El rendimiento limitado por agua (R_a) es de alrededor de 13 t ha⁻¹ en maíces tempranos y 18 t ha⁻¹ en maíces tardíos (Figura 2). Las diferencias de R_a entre maíz temprano y tardío pueden ser atribuidas a una mejor y más estable condición hídrica durante el ciclo de crecimiento del cultivo tardío. Por otro lado, el rendimiento obtenido en lotes de producción rondan los 7,75 t ha⁻¹ siendo levemente superior en maíz temprano (Figura 2). La variabilidad de rendimiento fue levemente mayor en el maíz temprano que en el tardío habiéndose obtenido rindes máximos de lotes similares a los limitados por agua en ambos maíces (~ 14 t ha⁻¹).

Tabla 2. Rendimientos potenciales (R_p), limitados por agua (R_a) y reales logrados por los productores (R_r).

Cultivo	R_p (t ha ⁻¹)	R_a (t ha ⁻¹)	R_r (t ha ⁻¹)
Maíz temprano	30,4	12,9	7,8
Maíz tardío	29,8	17,7	7,7

Los resultados logrados a campo por Espósito (2017) mostraron que para las condiciones ambientales del sur de Córdoba, el rendimiento máximo alcanzado con riego (promedio de 10 campañas) para maíz temprano es de alrededor de 19 t ha⁻¹ mientras que para maíz tardío es 15 t ha⁻¹. Este rendimiento puede considerarse un intermedio entre el Rp y Ra ya que la limitante por agua es compensada a través del riego. Por otro lado, el Atlas Mundial de brechas de rendimiento (www.yieldgap.org) refleja rendimientos limitados por agua (Ra) para maíz de 13,4 t ha⁻¹ para una región comprendida por cuatro localidades, tres de ellas pertenecientes a Córdoba como Laboulaye, Marcos Juárez, Río Cuarto y la localidad de General Pico (La Pampa) (Aramburu Merlos *et al.*, 2015). Cabe destacar que estos rendimientos potenciales alcanzados a campo, en todos los casos fueron logrados con fertilización balanceada, adecuada provisión hídrica (lograda generalmente a través de riego) y la correcta elección del arreglo espacial.

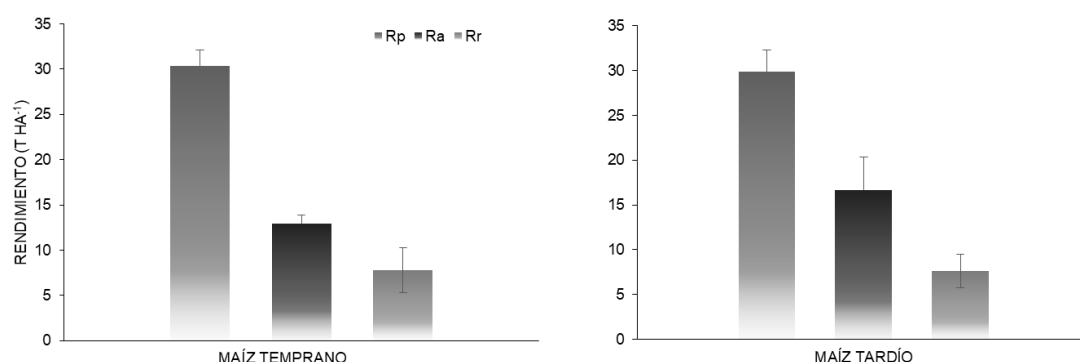


Figura 2. Rendimiento potencial (Rp), rendimiento limitado por agua (Ra) y rendimiento logrado por los productores de la región sudeste de Córdoba (Rr) para maíz temprano y tardío.

3.2. Brecha de rendimiento en maíz temprano y tardío

La brecha de rendimientos potenciales se encuentra en el orden de las 22 t ha⁻¹ tanto para maíz temprano como tardío (Tabla 3). Para el caso de los rendimientos limitados por agua las brechas de producción se encuentran alrededor de las 5,1 y 10 t ha⁻¹ para el maíz temprano y tardío, respectivamente. Aramburu Merlos *et al.* (2016) indica que existen brechas de producción en secano (brecha Ra - Rr) en el orden de 6,6 t ha⁻¹ para maíz en estimaciones realizadas a partir de relevamientos en diferentes zonas productivas del país. No obstante, el rendimiento de los mejores lotes de producción y de ensayos de genética (Vallone *et al.*, 2017) y fertilización (Gudelj *et al.*, 2017) muestra una brecha muy pequeña con Ra lo cual indica que es posible alcanzar este nivel de rendimiento ajustando el manejo de los cultivos y la aplicación de tecnologías que contrarresten los factores limitantes y reductores de la producción.

Tabla 3. Diferencia entre los rendimientos reales, rendimientos potenciales y rendimientos limitados por agua (Brechas de producción) para maíz temprano y tardío.

Cultivo	Brecha Rp (t ha ⁻¹)	Brecha Ra (t ha ⁻¹)	Brecha Ra / Ra (%)
Maíz temprano	22,8	5,1	39
Maíz tardío	22,4	10,0	56

La problemática de las brechas de rendimiento de los cultivos es un tema de interés global habiéndose desarrollado programas que tienen como objetivo trabajar sobre el rendimiento potencial de los cultivos a través de la mejora genética y la optimización de las prácticas de manejo de los mismos. Hoy en día se encuentran fácilmente al alcance del productor diversas herramientas de manejo que podrían surgir como alternativa para lograr reducir las brechas de rendimiento. Entre ellas se pueden nombrar una correcta elección de lote no sólo por la calidad edáfica sino también por la capacidad de suministrar agua al cultivo y el aporte que podría realizar la capa freática (Jobbágy y Nosoetto, 2009). Otras herramientas de manejo como la elección de la estructura del cultivo (fecha de siembra, densidad y arreglo espacial) en función de las potencialidades del ambiente, la fertilización nitrogenada y fosforada; y el control de plagas, malezas y enfermedades ayudan a reducir la brecha de rendimientos en el cultivo de maíz. De igual manera la implantación de cultivos de cobertura y las rotaciones con alta diversidad de cultivos también representa una alternativa con la intención de optimizar el manejo del agua y nutrientes en los sistemas agrícolas (Baigorria *et al.*, 2016).

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran diferencias entre los rendimientos potenciales y limitados por agua con los obtenidos a campo por los productores de la región sudeste de Córdoba. A partir de los resultados obtenidos se aprecia que, en condiciones de secano, los rendimientos de maíz temprano y tardío podrían incrementarse en alrededor de 39 y 56% respectivamente. La identificación y cuantificación de las brechas de rendimiento es el primer paso que indica que ante las potencialidades del ambiente queda mucho trabajo por hacer para lograr una mejor captación y utilización de recursos disponibles tendientes a lograr una intensificación productiva sustentable.

Bibliografía

- ARAMBURU MERLOS F, J. P. MONZON, F.H. ANDRADE, P. GRASSINI. 2016. Rendimientos Potenciales y Brechas de Rendimiento en Argentina. XXIV Congreso AAPRESID "Resiliar". 3 al 5 de Agosto de 2016. Rosario, Argentina.
- ARAMBURU MERLOS, F., J.P. MONZON, J.L. MERCAU, M. TABOADA, F. H. ANDRADE, A.J. HALL, GRASSINI, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184: 145-154.
- BAIGORRIA, T.; CANALE, A.; CAZORLA, C.; FERREIRA, L.; ORTIZ, J.; PEGORARO, V.; VIDELA MENEGUE, H. 2016. "Inclusión de cultivos de cobertura en secuencias agrícolas del sudeste de Córdoba". Río Cuarto, Argentina.
- DE PRADA, J.D.; PENNA, J. 2009. Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el sur de Córdoba, Argentina. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales. N° 8. P. 98.
- ESPÓSITO, G. 2017. ¿Puede mejorarse el rendimiento de maíz? Revista: *Red de INNOVADORES: Maíz SD*. ISSN 1850-0633.
- GRASSINI, P., THORBURN, J., BURR, C. & CASSMAN, K. G. 2011. High-yield irrigated maize systems in Western U.S. Corn-Belt. II. Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Res.* 120, 133–141.
- GUDELJ, V.; VALLONE, P.; GALARZA, C.; ANSELMINI, H.; DONADÍO, H.; SALAFIA, A.; VIDELA MENEGUE, H. Y B. CONDE. 2017. Fertilización en maíz. Resultados de experimentos de fertilización con nitrógeno, fósforo, azufre y zinc. Ciclo 2016-17. Actualización de Maíz 2017. INTA EEA Marcos Juárez.
- JOBBÁGY, E.C.; NOSETTO, M.D. 2009. Napas freáticas: pautas para comprender y manejar su impacto en la producción. XVII Congreso Aapresid. Rosario, 19 al 21 de agosto de 2009.

LABORTE, A. G., DE BIE, K., SMALING, E. M. A., MOYA, P. F., BOLING, A.A. & VAN ITTERSUM, M. K. 2012. Rice yields and yield gaps in Southeast Asia: Past trends and future outlook. *Eur. J. Agron.* 36, 9-20.

LLOBELL, D.B., CASSMAN, K.G., FIELD, C.B. 2009. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* (34). pp. 179-204.

MARCOS, J. 1997. Corn production under dryland conditions in eastern Washington. Department of Crop and Soil Sciences. Washington State University, Pullman, USA.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DE CÓRDOBA. 2017. Estimaciones campañas agrícolas. En: <http://magya.cba.gov.ar/Umsiia.aspx>. Acceso: 17/01/2017.

MONTEITH, J. L., C.J MOSS. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), 277-294.

SADRAS, V.O., CASSMAN, K.G.G., GRASSINI, P., HALL, A.J., BASTIAANSEN, W.G.M., LABORTE, A.G., MILNE, A.E., SILESHI, G., STEDUTO, P. 2015. Yield gap analysis of field crops – Methods and case studies. FAO Water Reports No. 41, Rome, Italy.

SALVAGIOTTI, F., J.L ROTUNDO, G. DIMAURO, A. CONDORÍ, S. GALLO, R. POZZI, M. BOXLER. 2016. Rendimientos potenciales y brechas de rendimiento de soja en la campaña 2014-15. Revista: *Para mejorar la producción* (54). INTA EEA Oliveros.

STOCKLE, C. O., Y A. R. KEMANIAN. 2004. Driving crop growth model: radiation –versus transpiration - use efficiency. In: T. Fischer (ed.). *New directions for a diverse planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress*. Brisbane, Australia.

TANNER, C. B., T.R. SINCLAIR. 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search? Limitations to efficient water use in crop production: 1-27.

TITONELL, P. 2004. El carbono orgánico de los suelos del centro de Argentina. Derivando indicadores de sustentabilidad a partir de su evolución y estado de equilibrio actual. UNRC. Río Cuarto, Argentina.

VALLONE, P.; GUDELJ, V.; GALARZA, C.; ANSELM, H.; DONADÍO, H.; SALAFIA, A.; CHIACHIERA, S. Y B. CONDE. 2017. Ensayos comparativos de rendimiento de maíz. Campaña 2016 / 2017. Actualización de Maíz 2017. INTA EEA Marcos Juárez.

VAN ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITONELL, P. Y Z. HOCHMAN. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field. Crop. Res.* 143. 4-17.

VERDOODT, A. y E. VAN RANST. 2003. Land evaluation for agricultural production in the tropics. A large-scale land suitability classification for Rwanda.

VIDELA MENEGUE, H., J. MARCOS, A. DEGIOANNI, E. BONADEO. 2016. Modelo de simulación de sistemas de cultivo SWB-Rot (Soil Water Balance): calibración y validación para la región pampeana argentina. VIII Congreso Argentino de AgroInformática (CAI-2016)-JAIIO 45.