

Rendimientos potenciales y brechas de rendimiento de soja en la campaña 2014-15.

Salvagiotti, F.¹, Rotundo, J.L.², DiMauro, G.², Condorí, A.³, Gallo, S.⁴, Pozzi, R.⁴ y Boxler, M.⁴

¹ INTA EEA Oliveros; ² Facultad de Ciencias Agrarias – UNR; ³ AER Totoras INTA; ⁴ CREA Sur de Santa Fe.

Palabras clave: soja, potencial, brecha.

Introducción

Según el Plan Estratégico Agroalimentario, existe en Argentina el objetivo de alcanzar una producción de 70 millones de toneladas de oleaginosas y de 84 millones de toneladas en cereales para el año 2020 (Minagri, 2011). La mayor parte de los suelos con aptitud agrícola han sido ya ocupados, y la expansión a nuevas áreas enfrenta un riesgo ambiental severo dada la fragilidad de los ecosistemas. Entonces, el aumento de la producción estará ligado fuertemente a lograr una mayor producción por unidad de superficie y el desafío es poder diseñar una intensificación sustentable de la agricultura.

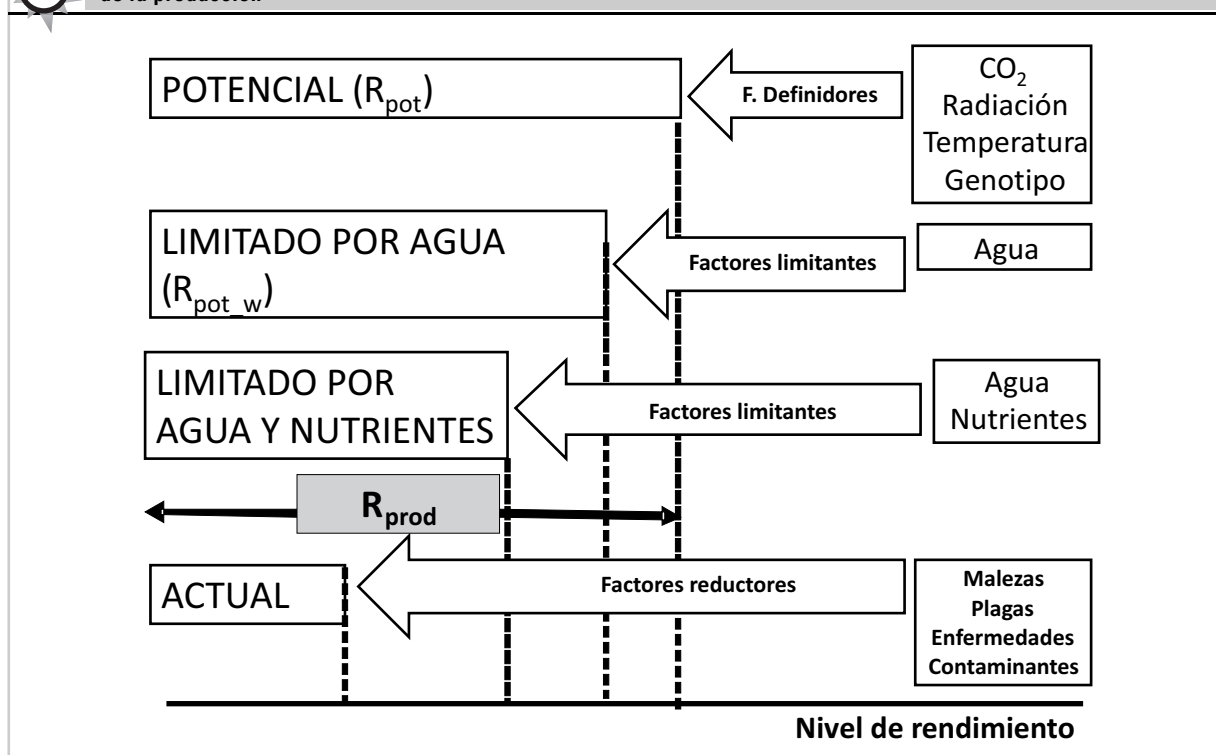
La intensificación agrícola sustentable involucra estrategias de manejo de los sistemas de producción y de los cultivos que permitan incrementar la producción de granos haciendo un uso eficiente de los recursos del ambiente. Para diseñar estas estrategias, además de conocer la oferta de recursos ambientales para establecer las secuencias de cultivos a incorporar en un sistema, es importante cuantificar el rendimiento potencial de los cultivos (R_{pot}) y conocer la brecha de rendimiento existente con el rendimiento promedio del productor (R_{prod}) (Lobell et al., 2009). Se entiende como R_{pot} al rendimiento de un genotipo adaptado, el cual es cultivado en condiciones favorables sin limitaciones de agua, nutrientes, plagas, ni enfermedades (Evans, 1993). Para planteos de producción en secano, como los que se dan en la zona pampeana, el rendimiento potencial limitado por agua ($R_{pot,W}$) es el objetivo a alcanzar (Lobell et al., 2009). El rendimiento obtenido por el

productor (R_{prod}) será la resultante de la combinación del manejo de los factores limitantes de la producción (agua y nutrientes) y los factores reductores del rendimiento (malezas, plagas, enfermedades), tal como se describe en la Figura 1.

El impacto de una práctica de manejo será mayor en la medida que la brecha de rendimiento sea mayor. En general, se consideran brechas “explotables” a aquellas que superan al 20% ($(R_{pot} - R_{pot,W}) / R_{pot}$ o $(R_{pot,W} - R_{prod}) / R_{pot,W}$ según el factor limitante) (van Ittersum et al., 2013). Es importante reducir la brecha potencial ($R_{pot} - R_{pot,W}$) en planteos en donde el agua no sea una limitante, y se esté en condiciones de producción de secano donde la disponibilidad de nutrientes haya sido corregida y los factores reductores controlados. Para soja, la brecha explotable ($R_{pot,W} - R_{prod}$) dependerá de la fecha de siembra y del grupo de madurez, como así también de la disponibilidad hídrica en el ciclo del cultivo y la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos. Para cuantificar tanto R_{pot} , el $R_{pot,W}$ y las brechas de producción pueden utilizarse tanto la experimentación a campo como así también modelos de simulación (Lobell et al., 2009).

En la zona núcleo de producción sojera argentina, existe la inquietud entre los productores de encontrar manejos para maximizar el rendimiento del cultivo, debido a la visión de que los aumentos de rinde año a año no muestran incrementos, sugiriendo que R_{prod} está cercano a $R_{pot,W}$. Una alternativa posible consistiría en aumentar R_{prod} a través del uso de un paquete tecnológico con mayor nivel de insumos diseñado para lograr altos rendimientos (Ruffo et al., 2015), i.e. R_{prodAT} . En el mercado existen nuevas tecnologías de uso no generalizado, que podrían contribuir a reducir esta brecha de rendimiento y cuyos efectos en conjunto sobre el R_{pot} y la brecha de rendimiento no se

Figura 1. Niveles de rendimiento de los cultivos en función de los factores definidores, limitantes o reductores de la producción



conocen. Entre ellas se incluyen: el tratamiento químico de semillas, la fertilización con micronutrientes, la aplicación de reguladores de crecimiento vegetal y el uso de fungicidas preventivos, entre otros.

Los objetivos de este trabajo fueron:

(i) Estimar el rinde potencial del cultivo sin limitaciones hídricas (R_{pot}) y la brecha asociada a limitaciones hídricas ($R_{pot} - R_{pot_w}$), utilizando modelos de simulación en distintos ambientes de producción sojera de la región sur de Santa Fe y este de Córdoba.

(ii) Estimar la brecha de rinde explotable por el productor ($R_{pot_w} - R_{prod}$).

(iii) Estimar en qué medida puede reducirse la brecha explotable mediante un planteo de alta tecnología.

Materiales y métodos

Evaluación de paquetes de uso de insumos para obtener altos rendimientos

El área de estudio comprendió el centro- sur de Santa Fe y el este de Córdoba (Figura 2). En cada sitio se identificaron 2 ambientes con distinta productividad en seco: (i) lotes que expresaron consistentemente rendimientos mayores a 4500 kg ha^{-1} (Alta productividad) y (ii) lotes con rendimiento entre 3000 y 4500 kg ha^{-1} (Mediana

productividad). Las diferencias entre ambientes estuvieron dadas por la combinación de tipos de suelo, historia de uso, posición en el relieve. En cada ambiente, se evaluaron dos tratamientos de tecnología de insumos: (1) Manejo convencional y (2) Manejo de alta tecnología (Tabla 1). Las dimensiones de las parcelas a evaluar fueron de 15 m de ancho por 200 m de largo como mínimo, con dos o tres repeticiones.

En todos los lotes y ambientes se sembró el cultivar DM 4612. La fecha de siembra fluctuó del 24 de octubre al 26 de noviembre de 2014, con densidades de 30 a 51 pl/m^2 . El espaciamiento entre líneas fue variable de $0,35 \text{ m}$ a $0,42 \text{ m}$. Estos aspectos del manejo fueron iguales en el tratamiento convencional y de alta tecnología. En todos los casos se evaluaron distintas series de Argiudoles típicos, excepto en el sitio Santa Isabel que fue un Hapludol típico (Tabla 2). A cosecha se evaluó el rendimiento del cultivo corregido al 13.5% de humedad. De esta manera, se obtuvieron dos rendimientos del productor: R_{prodMC} y R_{prodAT} siendo respectivamente el rendimiento con el manejo convencional y de alta tecnología.

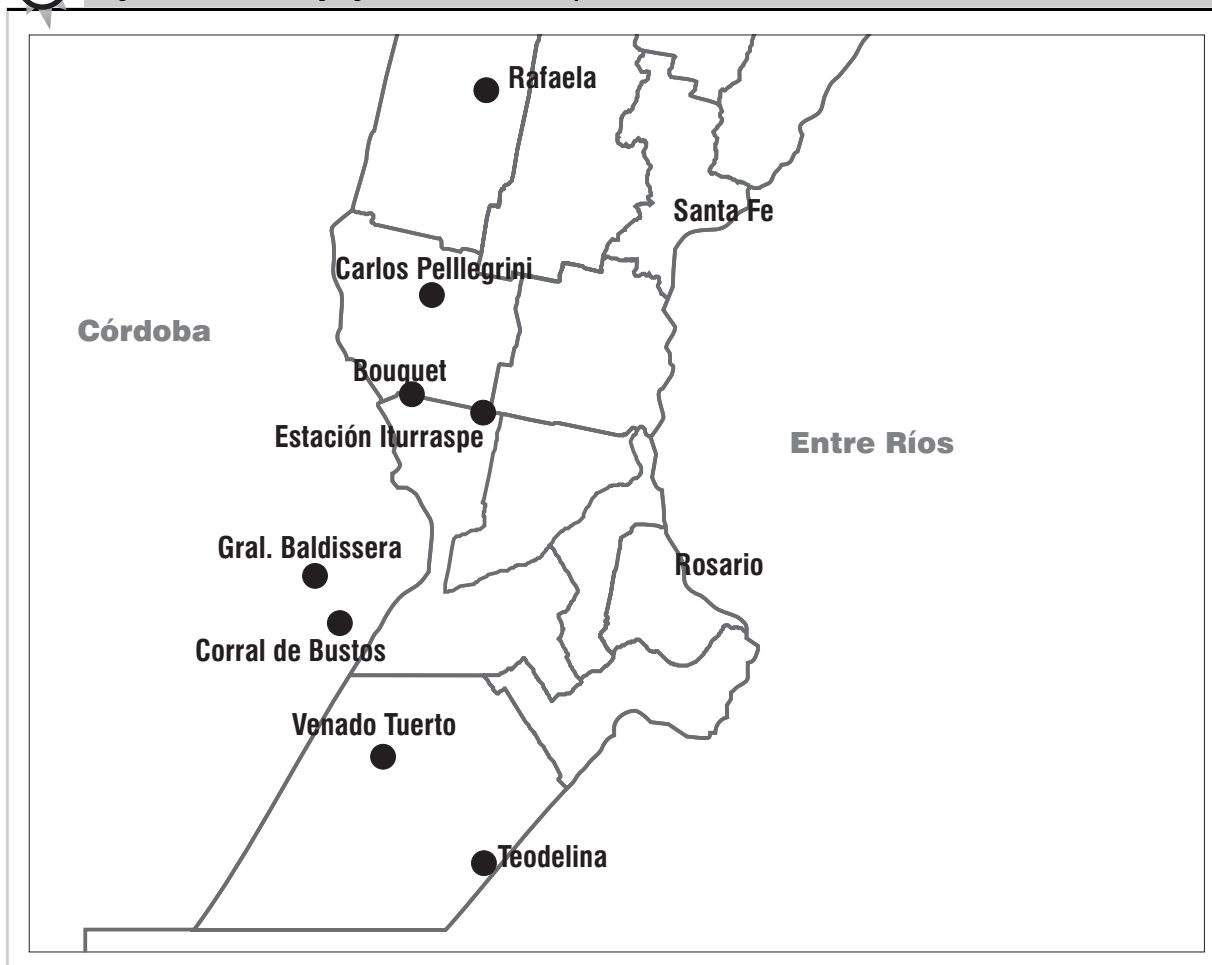
Análisis de las brechas de rendimiento ($R_{pot} - R_{pot_w}$) y ($R_{pot_w} - R_{prod}$) con modelos de simulación

En cada lote estudiado se midió el contenido de agua en el suelo al momento de la siembra. Junto con esta información, la caracterización del cultivar, del suelo, del ma-



2

Figura 2. Distribución geográfica de los sitios experimentales



t1

Tabla 1. Tratamientos de tecnología de insumos estudiados

Momento	Manejo convencional (MC)	Manejo de Alta Tecnología (AT)
A la siembra	(fertilización de base más frecuente)	200 kg MESZ
Semilla	(Tratamiento más frecuente)	Semilla tratamiento profesional (Inoculación/Insecticida/Fungicida) Inoculación con PGPR + Rhizobium
R3	Fungicida Mezcla. Coragen + Dino (Dupont)	Stimulate + CaB(Stoller) Fungicida Mezcla Coragen+Dino (Dupont)

nejo de cada lote y los datos climáticos diarios, se simuló R_{pot} y R_{pot_W} utilizando el modelo de simulación CROPGRO, incluido dentro del paquete DSSAT. Con esta información se estimó la brecha $R_{pot} - R_{pot_W}$ y $R_{pot_W} - R_{prodAT}$ donde R_{prodAT} es el rendimiento del productor en el tratamiento de alta tecnología.

Resultados

Análisis de las brechas de rendimiento

El rendimiento potencial del cultivo de soja, estimado por el modelo de simulación, mostró valores entre 5810 y 6661 kg ha⁻¹, mientras que el rendimiento potencial limitado por agua simulado con el modelo (R_{pot_W}) osciló entre 4115 y 6203 kg ha⁻¹ (Figura 3). En función de estos valores, la brecha calculada promedio ($R_{pot} - R_{pot_W}$) fue del 10%, oscilando entre 2 y 9%.

La brecha explotable con tecnología de producción ($R_{\text{pot}_W} - R_{\text{prod}_{MC}}$) ha sido, en promedio, del 15% (entre 0 y 30% según sitio). Con la aplicación del tratamiento de AT (el máximo rendimiento observado), la brecha ($R_{\text{pot}_W} - R_{\text{prod}_{AT}}$) fue, en promedio, del 14% con valores que oscilaron según los lotes entre 0 y 26% (Figura 3). Esta comparación demuestra que la brecha explotable es relativamente baja, por debajo del 20%, o que los rendimientos obtenidos, aún con el manejo convencional, estuvieron por encima del 80% del rendimiento máximo esperable de obtener.

Evaluación de paquetes de uso de insumos para obtener altos rendimientos

En promedio, el rendimiento del cultivo en toda la red fue de 4916 kg ha⁻¹. En general, todos los lotes superaron entre 17 y 36% a los rendimientos departamentales de cada sitio (Fig. 4). La única excepción fue el lote de Venado Tuerto, pero cuya fecha de siembra fue más tardía.

En líneas generales, no se observaron interacciones significativas entre los tratamientos aplicados (convencional vs alta tecnología) con los sitios ni con los ambientes seleccionados. Carlos Pellegrini fue el sitio que tuvo el

mayor rendimiento (5473 kg ha⁻¹), mientras que Venado Tuerto tuvo el menor (3866 kg ha⁻¹) (Figura 4). En promedio, los sitios identificados como de alta producción tuvieron un rendimiento ca. 7% superior; sin embargo, se observó una interacción significativa entre ambiente y sitio ($P < 0.05$), lo que estaría indicando que la diferencia entre ambientes fue variables según la localidad.

En relación a los tratamientos aplicados a los cultivos, promediando sitios y ambientes, hubo un efecto significativo que osciló entre 2 y 8% por la aplicación del paquete de mayor uso de insumos (Figura 5).

Comentarios finales

El manejo y las condiciones ambientales de la última campaña fueron conducentes a brechas explotables de rinde sumamente bajas (15% de rinde explotable mediante insumos). Es decir, que desde el punto de vista tecnológico las posibilidades de aumento de rinde fueron acotadas.

A pesar de esto, el paquete de alta tecnología produjo aumentos de entre el 2 y 8% según ambiente.

Independientemente de la relación de costos entre insumos y aumento de rinde, la pregunta que surge es: ¿es este aumento de rinde agrónomicamente significativo?

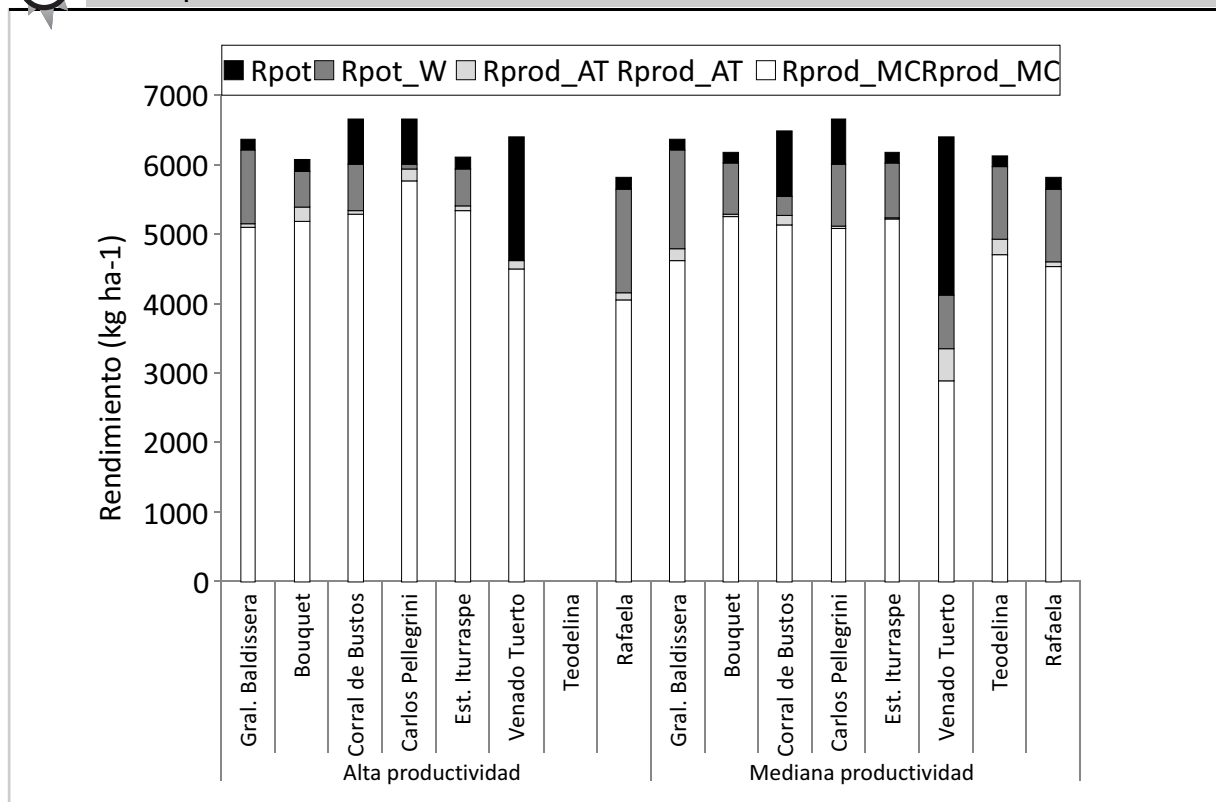
2
Tabla 2. Características de los sitios estudiados en el campaña 2014-15

Localidad	Ambiente	Fecha Siembra	Cultivo Antecesor	Serie suelo
Bouquet	Alta productividad	15/11/2014	Maíz 1º	Marcos Juárez
	Mediana productividad			
Carlos Pellegrini	Alta productividad	24/10/2014	Maíz 1º	Los Cardos
	Mediana productividad		Soja 1º	
Corral de Bustos	Alta productividad	08/11/2014	Maíz 1º	Marcos Juárez
	Mediana productividad		Soja 2º	
Est. Iturraspe	Alta productividad	14/11/2014	Maíz 1º	Los Cardos
	Mediana productividad		Maíz 2º	
Gral. Baldissera	Alta productividad	14/11/2014	Soja 1º	Marcos Juárez
	Mediana productividad		Maíz 1º	
Rafaela	Alta productividad	26/11/2014	Soja 1º	Rafaela
	Mediana productividad		Maíz	
Teodelina	Mediana productividad	22/11/2014	Maíz tardío	Santa Isabel
Venado Tuerto	Alta productividad	12/11/2014	Soja 1º	Santa Isabel
	Mediana productividad			



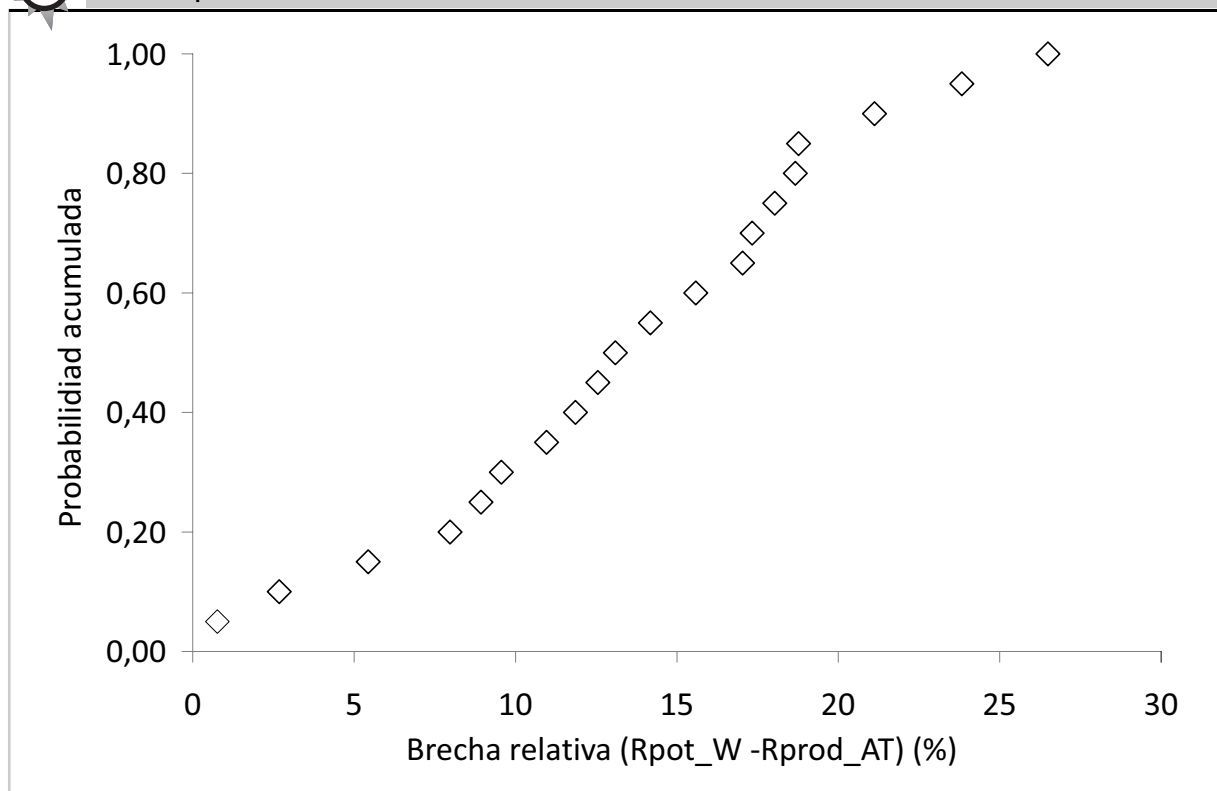
f3

Figura 3. Rendimiento de soja en el tratamiento de manejo convencional (Rprod_MC), de alta tecnología (Rprod_AT) en comparación al rendimiento potencial limitado por agua (Rpot_W) y el rendimiento potencial (Rpot) en distintos lotes de producción



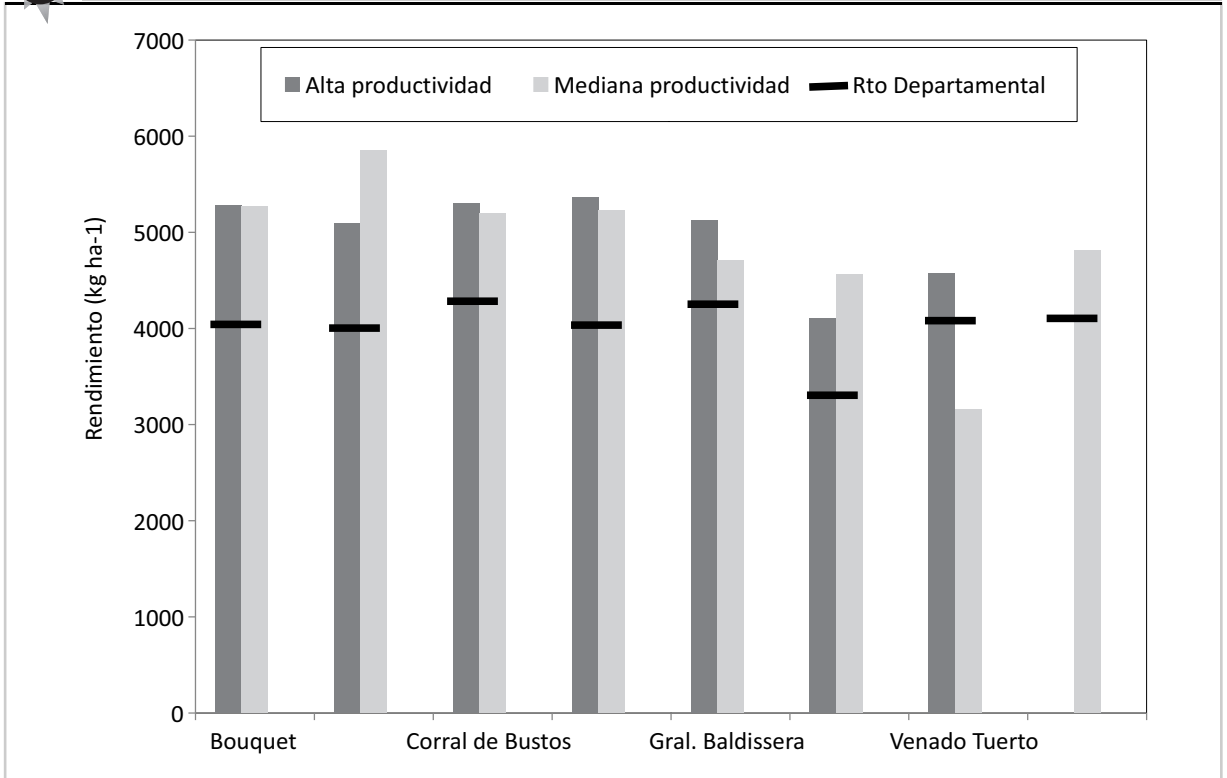
f4

Figura 4. Probabilidad acumulada de la brecha relativa $((Rpot_w - Rprod_{AT}) / Rpot_w)$ en los quince lotes estudiados en la campaña 2014/15



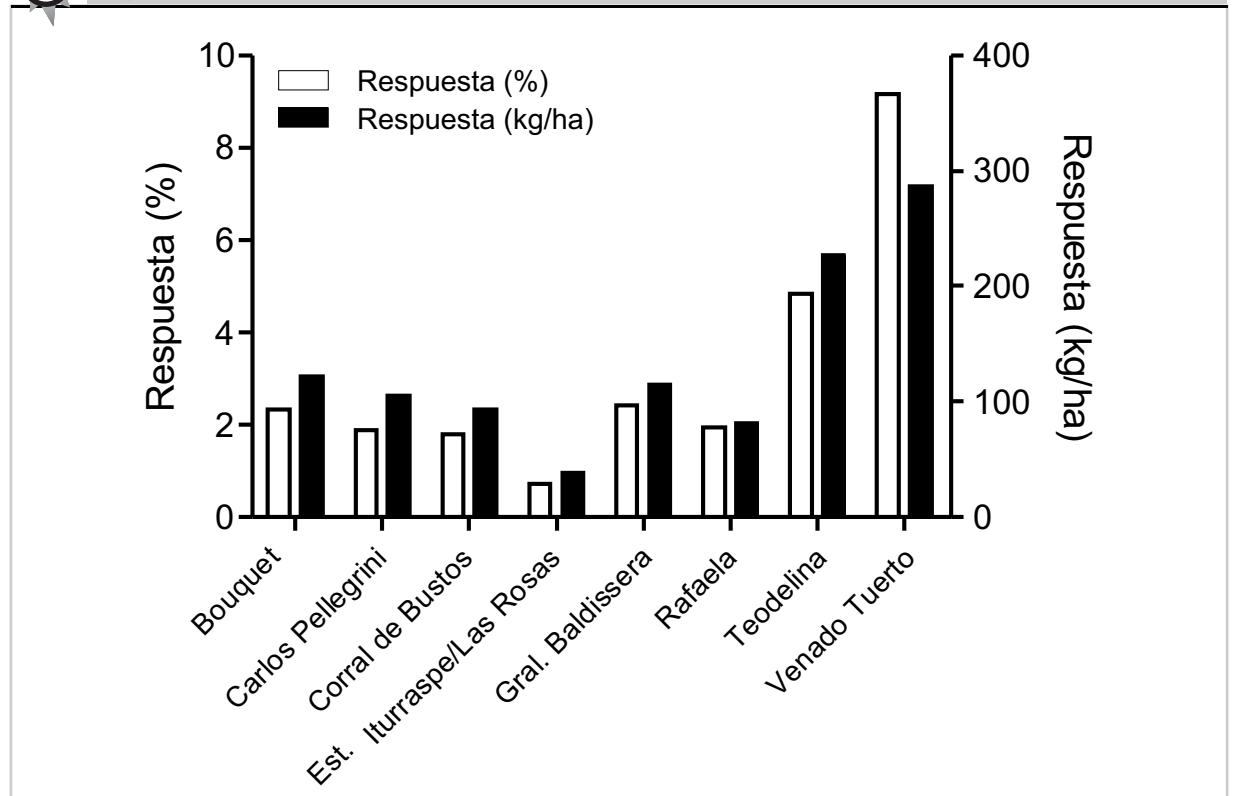
5

Figura 5. Rendimiento promedio por ambiente de producción en los siete sitios en comparación al rendimiento departamental de cada sitio



6

Figura 6. Rendimiento promedio por ambiente de producción en los siete sitios en comparación al rendimiento departamental de cada sitio





Para poner este valor en contexto, es interesante compararlo con la ganancia genética que, generalmente, se observa en los programas de mejoramiento de soja. Habitualmente, el aumento promedio de rinde, debido a mejora genética por cada año de mejora, es de alrededor de 0.5% anual. Esto se logra con un notable esfuerzo técnico y económico de las empresas de mejoramiento.

El rango de incremento en rinde, debido al paquete de alta tecnología (2 a 8%), equivale a la ganancia promedio esperada en entre 4 y 16 años de mejoramiento.

Puesto en este contexto, podemos decir que los aumentos de rinde producidos por el paquete de alta tecnología es agronómicamente **significativo; sin embargo, teniendo en cuenta que se estaría trabajando cerca de los rendimientos máximos, el ajuste de las demás variables de manejo deben estar optimizadas.**

Referencias

EVANS, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation and yield Cambridge University Press, New York.

LOBELL, 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.

MINAGRI. 2011. Plan estratégico agroalimentario y agroindustrial participativo y federal 2010-2020 (PEA2).

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.

VAN ITTERSUM, M., CASSMAN K.G., GRASSINI, P., WOLF, J. TITTONELL, P., HOCHMAN, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A Review. Field Crops Research. 143, 4-17.

