

Manejo de densidad en maíz para siembras desde septiembre a enero

Brenda L. Gambin
(IICAR-CONICET)

Federico
Larrosa
(KWS)



1. Introducción

La seguridad alimentaria mundial implica producir de manera social y ambientalmente sustentable, y nivelar la oferta con la creciente demanda de alimentos (Godfray et al., 2010). Esta demanda está impulsada por diversos factores productivos, demográficos y sociales. Las estimaciones indican que la superficie destinada a la agricultura no solo no aumentará, sino que hasta podría disminuir. Por lo tanto, se espera que los aumentos en producción estén basados en mejoras de los rendimientos por hectárea (OCDE/FAO, 2013).

En diversos cultivos, el aumento de los rendimientos a lo largo de los años se ha logrado, en parte, por un aumento de los rendimientos potenciales. Los rendimientos potenciales son aquellos que se logran cuando un cultivar crece en un ambiente al cual está adaptado, sin limitaciones de agua y nutrientes, y libre de malezas, insectos y patógenos (Evans y Fisher, 1999). El mejoramiento genético aumentó los rendimientos potenciales incrementando la capacidad de fijar granos de los cultivos (Eyhérabide et al., 1994; Andrade et al., 1996, Otegui y Slafer 2000; Echarte 2006). Sin embargo, los rendimientos también aumentaron como consecuencia de un mejor desempeño de los materiales actuales en ambientes marginales o de mayor estrés, aumentando la estabilidad de los rendimientos (Duvick, 1997; Rusell 1984; Tollenaar y Lee 2000; Duvick, 2005). Esto es de particular relevancia en el cultivo de maíz.

Además de la genética, las prácticas de manejo fueron y son fundamentales para aumentar los rendimientos de los cultivos. Entre las prácticas más relevantes, la definición de la densidad de plantas que permita aprovechar al máximo los recursos, la mejor fecha de siembra para la combinación de la región y el año particular, y la elección del híbrido es de gran importancia en el cultivo de maíz. Actualmente no es claro cómo interactúan estas tres variables de manejo y es en este marco que la caracterización de los híbridos reviste importancia para su correcto posicionamiento.

Desde el año 2005 KWS tiene en Argentina un programa de mejoramiento genético propio. Hace unos años, se lanzó el segundo programa orientado a las siembras tardías. En este

marco, el equipo de Desarrollo de Producto ha implementado un sistema de evaluaciones de híbridos experimentales y pre-comerciales para conocer el mejor posicionamiento (fecha de siembra, densidad, etc) para cada uno de ellos. En este artículo se presenta el encuadre teórico que sustentan la investigación y un primer avance del análisis realizado en conjunto con GIMUCE de la UNR de los datos obtenidos para la zona núcleo. Para obtener el análisis completo de densidad y fecha de siembra para cada una de las zonas analizadas les recomendamos entrar en www.KWS.com.ar o a través de nuestra red de distribuidores.

1.1. Importancia de la densidad de plantas en maíz

La densidad en maíz es una práctica clave para lograr máximos rendimientos. A diferencia de la mayoría de los cultivos, el rendimiento de maíz muestra una relación parabólica a la densidad, como la que se observa en la Fig. 1 para un ambiente de potencial medio (Echarte et al 2000; Sarlangue et al., 2007). Esta relación implica que el rendimiento es maximizado a una densidad óptima particular. El motivo de esta relación parabólica entre rendimiento y densidad es la caída en la partición de biomasa a espiga a elevadas densidades. A partir del óptimo, el rendimiento se reduce porque el aporte de cada planta adicional es menor a lo que pierden las demás por crecer menos (Fig. 1). En densidades por debajo del óptimo, por otro lado, los rendimientos por unidad de área son bajos porque las plantas no aprovechan la totalidad de los recursos disponibles.

1.2. Manejo de densidad por ambiente

Es ampliamente conocido que la densidad óptima se modifica con la calidad del ambiente (por ejemplo, variaciones en agua o nitrógeno), y la Fig. 1 muestra estas diferencias. El número de plantas necesario para alcanzar los máximos rendimientos aumenta con la calidad del ambiente (Fig. 1).



De hecho, si mantenemos muy altas densidades en el peor ambiente el rendimiento es inferior al que conseguiríamos bajando el número de plantas m^{-2} .

Para entender el denominado “manejo de densidad por ambiente” deberíamos pensar cómo son las plantas que se encuentran en los puntos donde sacamos mayores valores de $kg\ ha^{-1}$ (óptimos de cada curva). Para entender esto podemos imaginar que sembramos con un mismo híbrido en dos lotes con diferencias de rendimientos esperados (uno de $7000\ kg\ ha^{-1}$ y otro de $14.000\ kg\ ha^{-1}$), una franja en la que la densidad aumenta metro a metro desde 30.000 plantas m^{-2} a 110.000 plantas m^{-2} (considerados estos valores extremos de densidad a nivel de producción).

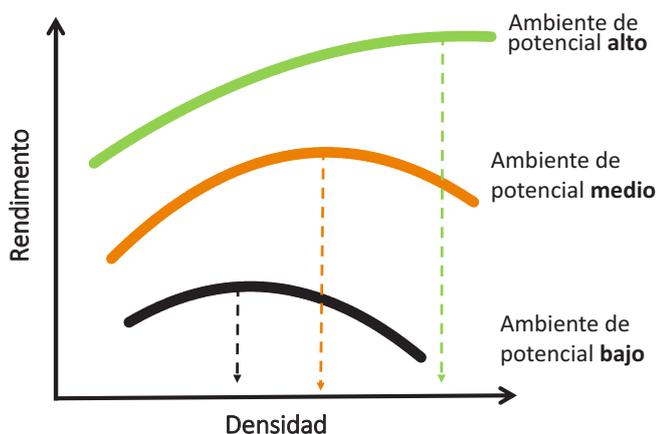


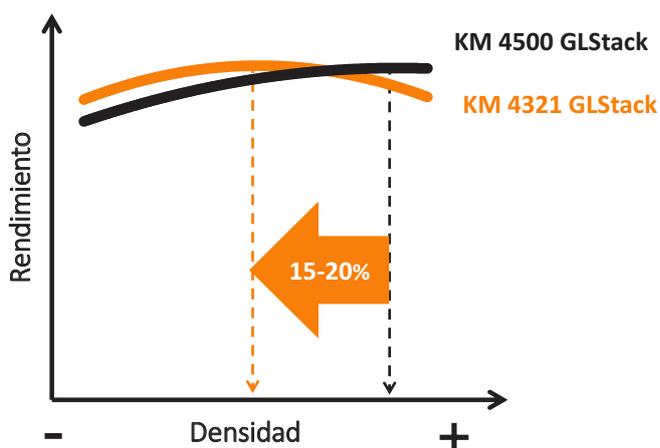
Fig. 1: Respuesta esperada del rendimiento a la densidad de plantas en maíz para tres ambientes de diferente potencial de recursos. Adaptado de Andrade (1996).

Lo que veríamos en los primeros metros a 30.000 plantas m^{-2} en ambos lotes es un cultivo sobrado de recursos por planta (muy buen ambiente distribuido entre muy pocas plantas, alta tasa de crecimiento por planta). Esto se traduce en plantas con una primera espiga completa y, en la mayoría de los híbridos, en plantas con más de una espiga. A medida que caminamos y la densidad va subiendo seguramente las segundas espigas de van perdiendo, pero el tamaño de las primeras no cambia. Mientras aumente el número de plantas por metro cuadrado y la espiga principal no cambie de tamaño lo que estamos logrando es un aumento del rendimiento por metro cuadrado. Llegará una densidad en la que las espigas empiezan a reducir su tamaño, y el rendimiento seguirá aumentando hasta que una planta que se agregue aporte menos granos que los que le hizo “perder” a las demás plantas por bajar su tasa de crecimiento. Cuantos metros caminemos por la franja de maíz hasta encontrar este punto será función de la oferta de recursos, siendo más larga la caminata, y por lo tanto un cultivo más

denso, el que nos permita conseguir los $14.000\ kg\ ha^{-1}$. De lo anterior se desprenden algunos conceptos importantes en lo que se refiere al manejo de la densidad: (1) no se logran los máximos rendimientos por m^{-2} con espigas granadas hasta la punta y (2) los máximos rendimientos se logran con plantas de espigas similares en ambos ambientes (7000 vs $14000\ kg\ ha^{-1}$), la diferencia está dada por la cantidad de plantas necesarias para lograr dichos rendimientos. Por lo tanto, el ambiente dispone la cantidad de recursos y eso nos marca los $kg\ ha^{-1}$ esperables de maíz. El “manejo de densidad por ambiente” se logra cuando nosotros, atendiendo esa disponibilidad ambiental asignamos al lote una cantidad de plantas tal que le permite a cada una de ellas crecer mucho (no el máximo) y presentar un buen estado fisiológico. Para los cultivos de maíz que se encuentran en la zona núcleo, y por lo tanto en su gran mayoría apuntan a altos rendimientos, las densidades óptimas suelen ser valores más altos que para el resto del país.

1.3. Manejo de densidad por híbrido

Evidencias más recientes han mostrado que los genotipos también responden distinto a la densidad (Sarlangue et al., 2007; Hernández et al., 2014), creando la necesidad de que el productor no sólo decida la densidad a sembrar basado en la calidad del ambiente sino también basado en el genotipo particular que desea sembrar. Es por este motivo que nuestros estudios se basan en conocer su respuesta. Por ejemplo, si los recursos del ambiente nos permiten esperar $7000\ kg\ ha^{-1}$, podemos “traducir” eso con 70.000 plantas ha^{-1} de un híbrido de espigas de 100 gramos o con 55.000 plantas ha^{-1} espigas de un promedio de 130 gramos de granos con $14,5\%$ de humedad. (Fig. 2).



La nueva genética KWS con mayor capacidad de fijación de granos, permitiría adoptar variables estrategias de manejo de densidad en cada uno de los ambientes. Además, es posible que estos híbridos tengan una respuesta de rendimiento distinta a los híbridos con menos flexibilidad de espiga ante los cambios de densidad para cada ambiente.

1.4. Fecha de siembra

Desde el punto de vista de la radiación y la temperatura, las siembras tempranas (septiembre) de maíz tienen la capacidad de expresar el rendimiento potencial para cada híbrido en cada zona (Cirilo y Andrade, 1994). Ese rendimiento potencial se verá disminuido por distintos factores tales como el balance hídrico, la fertilidad y características físicas del suelo (Fig. 3).

El principal riesgo que se asume al decidir una siembra temprana es la posibilidad que el cultivo sufra un estrés hídrico durante la floración (enero), periodo crítico de definición del rendimiento. El riesgo del estrés está asociado a la escasez de precipitaciones, alta variación interanual de las mismas y elevada demanda atmosférica. La decisión de

la densidad a sembrar debe estar relacionada al contexto agronómico. Por ejemplo, si conocemos el agua disponible a la siembra nos permite estimar cuánto de las necesidades totales del cultivo están cubiertas, y cuánto debería cubrir con lluvias durante el ciclo. Otro ejemplo es la madurez del híbrido a utilizar, que puede adaptarse en función de la disponibilidad hídrica y/o para evitar la coincidencia de la floración en enero.

Cuando se decide sembrar en diciembre el mismo lote, y por lo tanto realizar un barbecho más largo, lo que se logra es estabilizar los kg ha⁻¹ alcanzables. Desde el punto de vista hídrico, el barbecho (siempre que sea limpio) más largo permite acumular toda el agua de la primavera y además que la floración ocurra en un momento de mejor balance. Esto se debe a que febrero es un mes donde las lluvias son más frecuentes y la demanda atmosférica es menor. Aunque los rendimientos alcanzables han demostrado ser elevados, la potencialidad de estos ambientes por los niveles de radiación y temperatura es menor respecto a la fecha temprana (Mercau y Otegui, 2014; Gambin et.al, 2016)



Fig. 3: Objetivos y riesgos de las distintas fechas de siembra. Fecha temprana hace referencia a las siembras que van de mediados de septiembre a fin de octubre. Fecha tardía son las siembras que se realizan a partir de diciembre (no todos los conceptos aplican para siembras de segunda de maíz).



Las siembras de diciembre, sin embargo, traen aparejados otros riesgos productivos. Entre los riesgos más importantes se encuentran las enfermedades y los insectos. Cuanto más tarde se siembra desde del primero de diciembre, las condiciones de alta humedad y baja temperatura en etapas avanzadas del cultivo generan un ambiente óptimo para el desarrollo de varios patógenos. Asimismo, insectos como el cogollero (*spodoptera frugiperda*), tiene más chances de atacar los cultivos (Murua y Virla, 2003). Sin embargo, actualmente ambos tienen manejos agronómicos que nos permiten predecirlos, controlarlos y hasta erradicarlos. Por ejemplo, en el caso de las enfermedades sabemos que ciertos antecesoires predisponen la aparición de enfermedades por ser fuente de inóculo y llegado el caso, podemos seleccionar híbridos con mejor comportamiento para las enfermedades más comunes. A su vez, existen escalas que nos permiten realizar monitoreos para ir censando a medida que avanza el ciclo del cultivo y llegado el caso, tenemos moléculas que nos permiten controlar las enfermedades fúngicas. De la misma manera para los insectos hay antecesoires predisponentes, regiones con mayor riesgo, eventos biotecnológicos, monitoreos, escalas y moléculas. Por otro lado, aunque menos repetible que las dos anteriores, el riesgo de una helada temprana es un factor a tener en cuenta para decidir qué tan tarde sembrar. Por último, aunque no al nivel de un factor de riesgo, la humedad de cosecha es un condicionante para la estabilización del negocio de maíz tardío. En la siembra tardía tenemos más herramientas para predecir el rendimiento que la humedad a cosecha, por lo que la humedad aumenta la incertidumbre del negocio de maíz tardío. Ambos problemas serían contrarrestados con ciclos más cortos y siembras no muy posteriores al 15-25 de diciembre.

La información sobre el manejo en fecha temprana es mucho mayor que el que existe para fechas tardías, dado la más reciente propagación de la segunda. El manejo de densidad es un punto de discusión hoy en día. La información actualmente disponible hace referencia al manejo de densidad en fecha temprana o tardía pero no existe información comparando la respuesta en ambas fechas. Tampoco existe información comparando diferentes híbridos.

2. Resultados KWS

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de híbridos KWS frente a variaciones en la densidad en distintas fechas de siembra, se realizaron experimentos durante las campañas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017. Los experimentos se condujeron en la Experimental Multi-Ambiente

de Zavalla (Santa Fe). La fecha de siembra de los ensayos fue entre los días 15 y 25 para los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero. Se sembraron 5 materiales en 4 densidades (30.000, 50.000, 70.000 y 90.000 plantas ha⁻¹). El diseño del ensayo fue DBCA con dos repeticiones en la campaña 2014-2015 y tres en las dos restantes. Las unidades experimentales constaron de 4 surcos de 5 metros con surcos a 52 cm. Para la evaluación de rendimiento se cosecharon los 3 metros centrales de los 2 surcos centrales.

2.1. Efecto densidad y fecha de siembra

Los resultados presentados en las Figs. 4 y 5 corresponden a los efectos principales de densidad y fecha de siembra. Las mismas están graficadas en boxplot, los cuales contienen el 50% de los datos dentro de la caja y el 95% de los datos dentro de los corchetes. De esta manera no sólo se observa la tendencia media de los datos sino también su dispersión.

En cada uno de las densidades se agrupan los datos obtenidos para los cinco híbridos en las cinco fechas de siembra los tres años de análisis. En la densidad de 30.000 plantas por ha⁻¹, la variabilidad que se observa es producto de que no todos los híbridos presentan la misma prolificidad (datos no presentados). La densidad de 50.000 plantas por ha⁻¹ con un rendimiento significativamente mayor que de la densidad de 30.000 (9174 kg ha⁻¹ vs 7413 kg ha⁻¹) y presenta una caja más chica y significativamente menor rendimiento que las densidades mayores. Entre las densidades de 70.000 y 90.000 plantas no se registraron diferencias significativas, siendo sus promedios de 10125 y 10321 kg ha⁻¹, respectivamente.

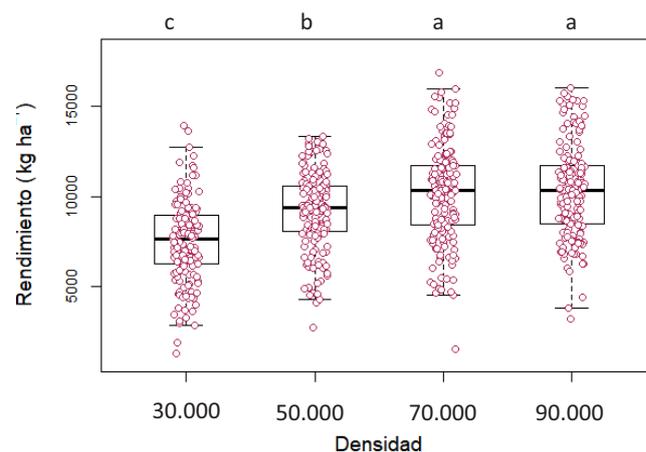


Fig. 4: Boxplot de rendimiento en función de la densidad (pl ha⁻¹) para el conjunto de datos (3 años x 5 fecha de siembra x 4 densidades x 5 híbridos x 2/3 repeticiones). Letras distintas indican diferencias significativas con p<0.05.



Los mismos datos representados en función de la fecha de siembra (Fig. 5) muestran que en las fechas tempranas (septiembre y octubre) se obtuvieron los mayores rendimientos, sin diferencias significativas entre ellas (10328 y 10078 kg ha⁻¹ para la fecha de septiembre y octubre, respectivamente). Los resultados demuestran por qué la fecha de siembra de diciembre fue tan adoptada, ya que con sus 9818 kg ha⁻¹ no se diferenció de octubre y fue significativamente superior en rendimiento a las fechas de noviembre y enero. La fecha de noviembre con 9450 kg ha⁻¹ fue la peor de las fechas de siembra, lo cual es acorde a su mayor probabilidad de estrés hídrico comparado con las otras fechas. Por último, los rendimientos caen abruptamente en la fecha de enero a un promedio de 6528 kg ha⁻¹.

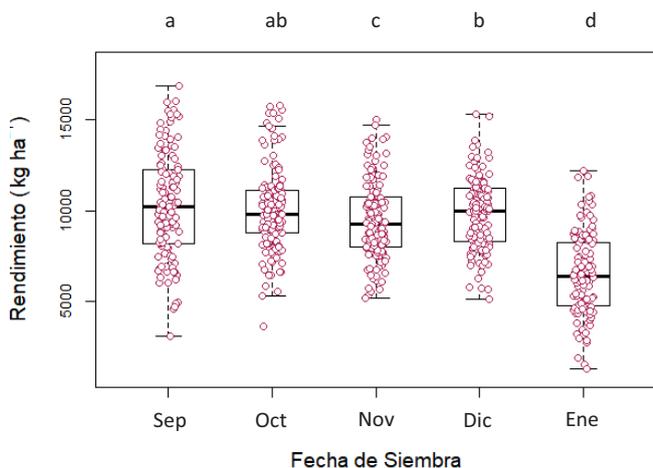


Fig. 5: Boxplot de rendimiento en función de la fecha de siembra para el conjunto de datos (3 años x 5 fecha de siembra x 4 densidades x 5 híbridos x 2/3 repeticiones). Letras distintas indican diferencias significativas con $p < 0.05$.

2.2. Interacción fecha x densidad

La Fig. 6 muestra la respuesta del rendimiento a la densidad para cada fecha de siembra. Cada figura agrupa al conjunto de híbridos y años evaluados. Se observa una clara interacción fecha de siembra x densidad. En fechas tempranas (septiembre-octubre), aumentos de densidad generan aumentos proporcionales de rendimiento. A medida que atrasamos la fecha de siembra, la respuesta al aumento de densidad es cada vez menos evidente (Fig. 6). Esta respuesta indica que el impacto de la densidad sobre el rendimiento al atrasar la fecha de siembra es menor, y que el óptimo de rendimiento es menor en fecha tardía respecto a fecha temprana. Esto sería independiente del híbrido y del año. La tendencia se revierte en enero en donde el rendimiento responde a todo el rango de densidad, aunque a menor tasa. Esta respuesta, en parte, puede estar explicada por la disminución del tamaño de las plantas en las fechas de enero comparado con siembras de noviembre o diciembre.

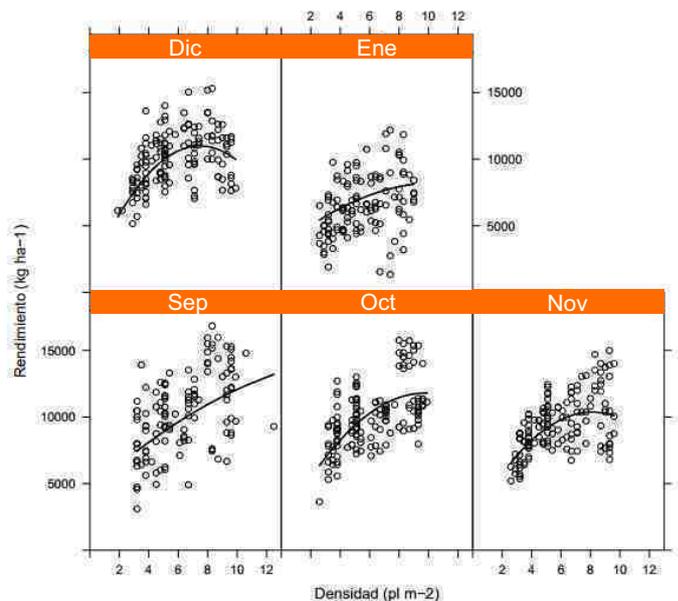


Fig. 6: Respuesta del rendimiento a la densidad de plantas para las cinco fechas de siembra (Sep, septiembre; Oct, octubre; Nov, noviembre; Dic, diciembre y Ene, enero). En cada fecha se grafica el conjunto de datos (3 años x 4 densidades x 5 híbridos x 2/3 repeticiones). La línea llena representa el modelo lineal mixto ajustado al conjunto de datos.

En la Fig. 7 se comparan la respuesta del rendimiento y sus componentes numéricos (número de granos m², NG y peso de mil granos) a los cambios de densidad para dos fechas contrastantes (diciembre y enero). En la misma se puede observar que los grandes cambios en la respuesta del rendimiento a la densidad son explicados parcialmente por el número de granos por m², y que el peso de grano individual juega un rol importante en la determinación del rendimiento en fecha tardía.

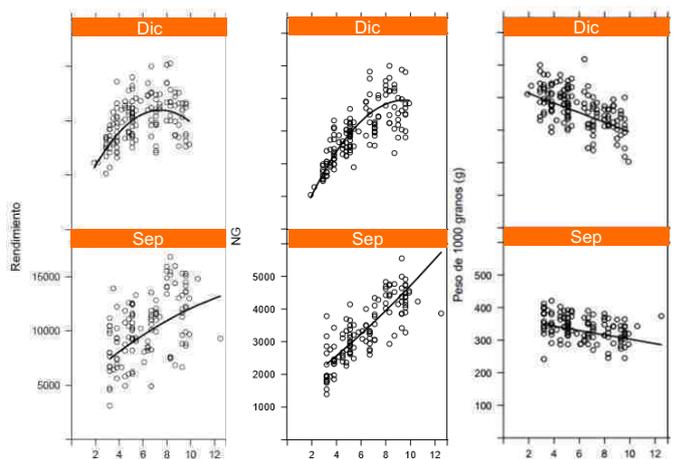


Fig. 7: Respuesta del rendimiento (kg ha⁻¹), número de granos m² (NG) y peso de mil granos en función de la densidad para dos fechas de siembra contrastantes de septiembre (temprana) y diciembre (tardía). En cada fecha se grafica el conjunto de datos (3 años x 4 densidades x 5 híbridos x 2/3 repeticiones). La línea llena representa el modelo lineal mixto ajustado al conjunto de datos.



3. Mensajes a destacar:

- **La densidad de siembra continúa siendo una decisión agronómica muy importante en maíz en todo el rango de fecha de siembra explorado.**
- **La densidad debe decidirse teniendo en cuenta tanto el ambiente como el híbrido seleccionado.**
- **Atrasos en la fecha de siembra modifica la respuesta de los híbridos a la densidad.**
- **La fecha de siembra de enero generó los peores rendimientos.**

Bibliografía

- ANDRADE, F.H.; CIRILO, A.; UHART, S.A.; OTEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de Maíz. Editorial Médica Panamericana. pp 292.
- OECD, Organisation for economic co-operation and development. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2013-2022, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo
- GODFRAY, H. C. J., BEDDINGTON, J. R., CRUTE, I. R., HADDAD, L., LAWRENCE, D., MUIR, J. F.; TOULMIN, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818.
- CIRILO, A.G., ANDRADE F.H., 1994. Sowing Date and Maize Productivity: I. Crop Growth and Dry Matter Partitioning. *Crop Sci.* 34, 1039-1043.
- DUVICK D.N., 1997 What is yield? pp. 332-335. In: G.O. Edmeades, et al. (Eds.), *Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize*. Proceedings of a Symposium, March 25-29, 1996, CIMMYT, El Batán, Mexico. CIMMYT, México, D.F.
- DUVICK, D.N. 2005. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, 50(3/4), 193.
- ECHARTE, L., ANDRADE, F.H., SADRAS, V.O.; ABBATE, P. 2006. Kernel weight and its response to source manipulations during grain filling in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field crops research*, 96(2), 307-312.
- EVANS, L.T.; FISHER, R.A. 1999. Yield Potential: Its definition, Measurement and Significance. *Crop Science* 39: 1544-1551.
- EYHERABIDE, G.H.; DAMILANO, A.L.; COLAZO, J.C. 1994. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina. *Maydica*, 39(3), 207-211.
- GAMBÍN, B.L., COYOS, T., DI MAURO, G., BORRÁS, L., GARIBALDI, L.A., 2016. Exploring genotype, management, and environmental variables influencing grain yield of late-sown maize in central Argentina. *Agric. Syst.* 146, 11-19.
- HERNÁNDEZ, F., AMELONG, A., & BORRÁS, L., 2014. Genotypic differences among Argentinean maize hybrids in yield response to stand density. *Agronomy Journal*, 106(6), 2316-2324.
- MERCAU, J.L., OTEGUI, M.E., 2014. Advances in agricultural systems modeling. En: Ahuja, L.R., Ma, L., Lascano, R.J. (Eds.) *Practical applications of agricultural system models to optimize the use of limited water*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, pp. 301-323
- MURÚA, M. G., & VIRLA, E. G., 2015. Presencia invernal de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el área maicera de la provincia de Tucumán, Argentina. *Revista de la facultad de agronomía, La Plata*, 105(2), 46-52.
- OTEGUI, M.E.; SLAFER, G.A. 2000. *Physiological bases for maize improvement*. Food Products Press.
- RUSSELL, W.A. 1984. Further studies on the response of maize inbred lines to N fertilizers. *Maydica* 29:141-150.
- SARLANGUE, T., ANDRADE, F. H., CALVIÑO, P. A., & PURCELL, L. C., 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density?. *Agronomy Journal*, 99(4), 984-991.
- TOLLENAAR, M.; LEE, E.A. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, 75(2), 161-169.

Agradecimientos

- GIMUCE (UNR)
- Brenda L. Gambin (IICAR - CONICET)

