

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Respuesta genotipo-ambiente a la densidad de siembra en híbridos de maíz.

Martin Alejandro Felippa

Río Cuarto - Córdoba

Diciembre de 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al

Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

Respuesta genotipo-ambiente a la densidad de siembra en híbridos de maíz.

Martin Alejandro Felippa

DNI: 31301118

Director: Ing. Agr. Dr. Espósito, Gabriel Pablo

Río Cuarto - Córdoba

Diciembre de 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Respuesta genotipo-ambiente a la densidad de siembra en híbridos de maíz.

Autor: Felippa, Martin Alejandro.

DNI: 31301118

Director: Ing. Agr. Dr. Gabriel Espósito

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Ing. Agr. Dr. Federico Morla

Ing. Agr. Cecilia Cerliani

Ing. Agr. Dr. Gabriel Espósito

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico
ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
SUMMARY.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
I.1. Hipótesis y objetivos.....	14
I.1.a. Hipótesis.....	14
I.1.b. Objetivos.....	14
I.1.b.a. Objetivos específicos.....	14
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
II.1. Medición de caracteres.....	16
II.2. Análisis estadístico.....	16
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
III.1. Descripción climática de la campaña.....	18
III.2. Respuesta del Rendimiento a la Densidad.....	20
III.3. Densidad Óptima Agronómica.....	26
IV. CONCLUSIONES.....	28
V. BIBLIOGRAFÍA.....	29
VI. ANEXO.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad óptima agronómica ($p\ m^{-2}$) y rendimiento ($kg\ ha^{-1}$) para distintos genotipos en distintos ambientes.....	26
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Precipitaciones -mm- (Columnas) y temperatura media -°C- (Línea) ocurridas durante el ciclo del cultivo para la localidad de Río Cuarto durante la campaña 2009/10.....	18
Figura 2. Precipitaciones -mm- (Columnas) y temperatura media -°C- (Línea) ocurridas durante el ciclo del cultivo para la localidad de Buena Esperanza durante la campaña 2009/10.....	19
Figura 3. Rendimiento de maíz (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en el ambiente Rio Cuarto – No fertilizado.....	20
Figura 4. Rendimiento de maíz (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en el ambiente Rio Cuarto - Fertilizado.....	20
Figura 5. Rendimiento de maíz (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en el ambiente Buena Esperanza – No fertilizado.....	21
Figura 6. Rendimiento de maíz (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en el ambiente Buena Esperanza - Fertilizado.....	21
Figura 7. Rendimiento del híbrido DK 670 MGRR2 (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en todos los ambientes.....	23
Figura 8. Rendimiento del híbrido DK 190 MGRR2 (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en todos los ambientes.....	23
Figura 9. Rendimiento del híbrido DK 747 MGRR2 (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en todos los ambientes.....	24
Figura 10. Rendimiento del híbrido DK AG6905 (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en todos los ambientes.....	24
Figura 11. Rendimiento del híbrido DK AF7002 (Kg ha^{-1}) para diferentes densidades (Pl m^{-2}) en todos los ambientes.....	25

RESUMEN

En maíz, el rendimiento depende íntimamente de la interacción del genotipo con el ambiente, y la densidad de siembra es una de las principales prácticas de manejo que influye sobre la productividad de este cultivo. Existe un valor de densidad óptima agronómica (DOA) donde el rendimiento es máximo, dependiendo del ambiente, del genotipo y de su interacción. Los objetivos de este trabajo fueron: I- Evaluar la respuesta del rendimiento a la densidad para distintos genotipos de maíz en distintos ambientes productivos (localidades y/o nivel de fertilización). II- Establecer la densidad óptima de cada híbrido para cada ambiente en particular. Para ello, se realizaron 2 experimentos, uno en Buena Esperanza (San Luis) y otro en Río cuarto (Córdoba) durante la campaña 2009/10, comparando 5 genotipos con 2 niveles de fertilización (con y sin). El diseño experimental utilizado en cada ensayo fue en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones espaciales por tratamiento, con arreglo espacial en parcelas sub-divididas, siendo el nivel de fertilización (con y sin) el factor principal, la densidad de siembra el factor secundario y el híbrido el factor terciario. Además, se sembraron 5 densidades para obtener las relaciones que estimen DOA y rendimiento (R). Los resultados mostraron que la respuesta del rendimiento a la densidad cambian con el ambiente productivo y con el genotipo, existiendo una interacción genotipo:ambiente en dicha respuesta. Además, la DOA también es afectada por esta interacción, siendo superior en los ambientes más productivos para todos los genotipos, y dentro de cada ambiente la misma difiere según el genotipo.

Palabras clave: Rendimiento - *Zea mays* - Número de granos

SUMMARY

The corn yield's depends intimately on the interaction of the genotype with the environment and the density of sowing is one of the main management practices that influences the productivity of this crop. There is a value of optimum agronomic density (DOA) where the yield is maximum, depending on the environment, the genotype and its interaction. The objectives of this work were: I- To evaluate the response of yield to density for different genotypes of maize in different productive environments (localities and / or level of fertilization). II- Establish the optimal density of each hybrid for each particular environment. For this, 2 experiments were carried out, one in Buena Esperanza (San Luis) and the other in Rio Cuarto (Córdoba) during the 2009/10 campaign, comparing 5 genotypes with 2 levels of fertilization (with and without). The experimental design used in each trial was in randomized complete blocks, with three spatial repetitions per treatment, with spatial arrangement in sub-divided plots, with the fertilization level (with and without) being the main factor, planting density the secondary factor and the hybrid the tertiary factor. In addition, 5 densities were sown to obtain the ratios that estimate DOA and yield (R). The results showed that the response of the yield to the density changes with the productive environment and with the genotype, there being an interaction genotype: environment in said response. In addition, optimal agronomic density is also affected by this interaction, being superior in the most productive environments for all genotypes, and within each environment it differs according to the genotype.

Key words: Yield - *Zea mays* - Kernel number

INTRODUCCIÓN

Aunque los conquistadores no llegaron a darse cuenta, el “grano dorado” nativo de América era de mayor importancia para el mundo que todo el oro y la plata de México y del Perú (Escobar Salas, 2005).

Los cereales son la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto para el consumo humano directo como, de una manera indirecta, para los insumos de la producción pecuaria. Por tanto, lo que ocurra en el sector de los cereales es crucial para los suministros mundiales de alimentos.

Dentro de estos, se encuentra el maíz (*Zea mays* L.), que es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu *Maydeas*, y es la única especie cultivada de este género. Apareció entre los años 8000 y 5000 A.C., ha evolucionado por selección natural, por la selección dirigida por los agricultores-mejoradores durante miles de años y por los mejoradores profesionales en los últimos 150 años. Existen aún una serie continua de tipos de plantas que van desde sus antecesores salvajes a razas más avanzadas, cultivares mejorados y mantenidos durante generaciones por los agricultores y las variedades mejoradas de polinización abierta con una base genética amplia, obtenidas profesionalmente (FAO, 2002).

El maíz cultivado es una planta completamente domesticada, el hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde tiempos remotos. El maíz no crece en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre (Paliwal y Cantrell, 1996).

Por su gran productividad, excelente palatabilidad y el alto contenido nutricional, el maíz ha ido reemplazando a otros cereales en la alimentación animal, además éste cultivo tiene una gran cantidad de usos industriales. De sus granos se obtiene almidón, edulcorantes, alcohol, jarabes, acetona y aceite entre otros productos (Watson, 1988).

Según el informe presentado por la FAO, en Chile en el año 2017, que ofrece proyecciones de diez años hasta 2026 para los principales productos agrícolas. Afirma que Argentina y Brasil experimentaron la mayor expansión en las áreas de cultivo en los últimos diez años, sumando respectivamente 10 millones de hectáreas y 8 millones de hectáreas a las tierras de cultivo mundial. Durante los próximos diez años, se espera que la expansión de las tierras de cultivo se encuentre en un rango similar para estos dos países.

En el período analizado por el informe (2017-2026), la producción global de cereales crecerá alrededor de 1% anual, lo que dará lugar a un aumento total en 2026 de 11% para el trigo, 14% para el maíz, 10% para los cereales secundarios y 13% para el arroz.

En el caso del maíz, la expansión del área representa sólo el 10% del aumento total de la producción, aumento impulsado principalmente por el crecimiento de la superficie cultivada en América Latina, que aumentará un 6,6%, de 33,5 millones de hectáreas en el período base a 35,7 millones de hectáreas en 2026 (FAO, 2017).

Es un insumo clave para una gran cantidad de industrias que abarcan desde la alimentación humana y el forraje para las producciones de carnes o leche, hasta su procesamiento industrial en plantas de alta complejidad cuyo producto final puede ser un alimento, un combustible o una materia prima para elaborar productos químicos como los biomateriales (Solsona *et al.*, 2013).

El consumo de maíz viene incrementándose aceleradamente. El rápido crecimiento de la industria de etanol en Estados Unidos, la evolución de los países asiáticos, la recuperación de la industria aviar, los nuevos mercados y el aumento de la población son algunas de las razones que han llevado a que el consumo mundial de maíz crezca más de un 35% durante la última década (Maizar, 2010).

El creciente uso de maíz para la fabricación de etanol ha sido la principal razón del incremento de la demanda del cereal. Esto ocurre especialmente en Estados Unidos, donde desde 2006 existe un mandato por el cual se reemplaza el petróleo con combustible de origen renovable. En la campaña 2006/07 se destinaron 54 millones de toneladas de maíz a la producción de etanol. En la 2011/12 ese volumen ascendió a las 127 millones de toneladas y para el ciclo 2016/2017 se habría utilizado en el cerca de 138,4 millones de toneladas de este cereal. Argentina utiliza entre 1,2 y 1,4 millones de toneladas de maíz para obtener etanol combustible.

El uso de maíz para la producción de etanol y derivados en Estados Unidos alcanza al 36% de cosecha anual del cereal. En tanto, en Argentina se usa apenas el 4% de la cosecha para generar etanol (Agrofy.com, 2017).

Según datos realizados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), en los últimos 10 años el consumo industrial de maíz creció un 52% mientras que el destino del grano como forraje solo aumentó un 15%. De esta forma, el cereal se transformó en el cultivo más producido del mundo superando al trigo y al arroz (FYO, 2014).

Además, un estudio de la FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas) – OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) considera que los derivados de la cadena del maíz son los que más aumentarán su volumen comercializado durante los próximos 10 años.

Es una especie única, por la gran diversidad genética de la planta, de la mazorca y del grano; por su adaptación a gran rango de ambientes; por su resistencia a enfermedades e insectos; por su tolerancia a distintos estreses ambientales, por sus múltiples usos como alimento humano o animal y por la gran variedad de productos que se obtienen de esta especie (FAO, 2002).

La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Habiéndose originado y evolucionado en la zona tropical como una planta de excelentes rendimientos, hoy día se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile. La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero se cultiva también por debajo del nivel del mar en las planicies del Caspio y hasta los 3800 msnm

en la cordillera de los Andes. Más aún, el cultivo continúa a expandirse a nuevas áreas y a nuevos ambientes (Paliwal, 2001).

El manejo por ambientes ha cobrado importancia en los últimos años debido a diferentes causas, siendo la más relevante la relacionada a la transformación de la actividad agrícola, tanto en la expansión en superficie como así también en un aumento de su productividad a través de un mayor uso de tecnología (Satorre, 2003).

Los incrementos fueron posibles gracias a una afortunada combinación de la mejor captación y uso de agua disponible, mejor control de insectos y enfermedades, maquinarias con mayor capacidad de siembra y cosecha, nuevos híbridos más productivos, mejores técnicas de producción (Andrade *et al.*, 1996).

La elección de prácticas de manejo más apropiadas brinda información para un manejo agronómico eficiente y sustentable, guía al mejorador en la selección de genotipos de mayor potencial de rendimiento y más adaptados al ambiente y además constituye el marco conceptual para modelos de simulación del crecimiento de los cultivos (Andrade, 2005).

El rendimiento es la expresión final de la interacción entre el genotipo elegido y las condiciones edafoclimáticas en las que está expuesto durante su ciclo. La elección del híbrido a sembrar y las estrategias de manejo utilizadas representan la parte controlable en la determinación del rendimiento, el resto depende principalmente de las condiciones ambientales que pueden variar significativamente entre campañas (Pedrol *et al.*, 2009).

El maíz es un clásico ejemplo de un cultivo en el que el rendimiento en grano es máximo a un nivel de población definido (Fery y Janick, 1971). Es por esto que para el maíz la elección de la densidad de siembra constituye uno de los aspectos de manejo que incide en el rendimiento final; diferenciándose de otros cultivos, como trigo, soja, o girasol que tienen una mayor capacidad de ajuste ante variaciones en la densidad (Vallone *et al.*, 2010).

La respuesta del rendimiento en grano por unidad de área, al incremento en la densidad de plantas en el cultivo de maíz, es de tipo óptimo (Karlen y Camp, 1985). Mientras que el rendimiento por planta disminuye con el incremento en densidad, el rendimiento del cultivo se incrementa hasta un máximo a partir del cual los aumentos posteriores en el número de individuos lo reducen marcadamente. La densidad óptima es aquella que permite al cultivo alcanzar el máximo rendimiento en grano.

La elección de la densidad de siembra es un factor importante de producción, por lo que se debe definir, para distintas situaciones de oferta ambiental de recursos la relación entre la cantidad de plantas logradas por unidad de superficie en un cultivo y su rendimiento (Andrade, 1996).

El menor aprovechamiento de la radiación incidente en densidades bajas, la escasa capacidad del cultivo para compensar el rendimiento en grano ante disminuciones en la densidad, responde a su ineficiencia para transformar la energía solar interceptada en destinos reproductivos (granos) por unidad de área, cuando el número de plantas es reducido (Andrade *et al.*, 1993).

La reducción en el número de granos en densidades altas responde tanto al aumento en el número de plantas estériles como a la disminución en el número de granos por espiga, discrepando diversos autores en la importancia relativa de ambos fenómenos (Daynard y Muldoon, 1983).

Los actuales programas de mejoramiento, con altas densidades de siembra y con selección en ensayos multi-ambientes, han permitido alcanzar notables mejoras en la tolerancia a estrés hídrico (Tollenaar y Lee, 2002).

Echarte *et al.* (2004), han postulado que estas mejoras en la tolerancia a estrés podrían deberse a la reducción de los umbrales de esterilidad (en términos de tasa de crecimiento diario por planta) que tienen los híbridos modernos en comparación a sus antecesores.

Los cultivares podrían ser valorados considerando que los híbridos más tolerantes presentan la ventaja de mantener un alto número de granos fijados cuando situaciones de estrés (ambientes más hostiles) reducen el crecimiento de cada planta individual (Paparotti y Valentinuz, 2004).

El rendimiento en grano y la proporción de materia seca asignada a su formación, la cual es estimada por el índice de cosecha, pueden variar de acuerdo a la interacción de cada genotipo con las condiciones particulares del ambiente en el cual desarrolla y crece (Pedrol *et al.*, 2009).

El éxito de lograr una respuesta positiva a dicha elección dependerá de la combinación del conocimiento del ambiente y de la caracterización de los genotipos disponibles para esas situaciones.

Actualmente, técnicos y productores disponen de información de ensayos de evaluación de híbridos, provenientes tanto de entidades públicas como de empresas privadas para apoyar la elección de un híbrido.

La información proveniente de un solo ensayo tiene validez únicamente para las condiciones ambientales particulares del mismo y del manejo que se realice (fecha de siembra, condiciones de suelo, sistema de labranza). Al analizar los rendimientos de un grupo de cultivares en varias localidades, se pone en evidencia la interacción genotipo-ambiente: el comportamiento relativo de los cultivares puede ser diferente en los distintos ambientes. Existe interacción genotipo-ambiente cuando una diferencia específica del ambiente no tiene el mismo efecto sobre diferentes genotipos (Rea y de Sousa Vieira, 2001).

La evaluación de genotipos experimentales y comerciales en ensayos comparativos de rendimiento en diferentes ambientes (ensayos multi-ambientes) es la parte central del proceso de mejoramiento. Las interacciones genotipo – ambiente normalmente complican la identificación de un genotipo superior para todos los ambientes. En gran medida el éxito del programa de mejoramiento está asociado al conocimiento que se tenga de estas interacciones (De la Vega, 2000).

La ocurrencia a menudo de interacción genotipo ambiente (G x A) en este tipo de ensayos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y específica.

La interacción G x A es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993).

Como los diferentes sistemas de producción están caracterizados por ambientes de alta variabilidad, resulta importante la elección del híbrido de maíz que pueda capturar de manera óptima la oferta de recursos del ambiente de producción (Albrecht *et al.*, 2009).

Es por ello que conocer la reacción que los diferentes materiales genéticos tienen frente a diversos ambientes, es de suma utilidad para elegir el híbrido que mejor se adapte a las condiciones del productor.

En el mercado argentino de híbridos de maíz la oferta es amplia y renovada, por lo tanto, una práctica de manejo importante como la elección del cultivar a utilizar puede representar una tarea compleja (Pedrol *et al.*, 2009).

Por lo antes expuesto, surge la necesidad de realizar una evaluación de la respuesta de los distintos híbridos modernos de maíz en distintos ambientes de producción, ya que no se encuentra información sobre estos híbridos, para lo cual se debe realizar una caracterización del ambiente, de la interacción genotipo – ambiente y del efecto de estos sobre la producción del cultivo de maíz.

HIPOTESIS

La respuesta del rendimiento de maíz a la densidad de siembra difiere entre distintos genotipos y ambientes productivos.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la respuesta del rendimiento de maíz de diversos genotipos en distintos ambientes productivos, y su interacción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la respuesta del rendimiento a la densidad para distintos genotipos de maíz en distintos ambientes productivos (localidades y/o nivel de fertilización).
- Establecer la densidad óptima de cada híbrido para cada ambiente en particular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos experimentales se realizaron en distintas localidades y con distintos niveles de fertilización, a fin de generar distintos ambientes productivos durante la campaña agrícola 2009/10.

El ENSAYO 1 se realizó en el establecimiento agrícola: “Los Almendros” (33°16'52" S, 64°33'03" O) situado 14 kilómetros al Sudoeste de la localidad cordobesa de Santa Catalina de Holmberg, sobre Ruta Nacional N° 8. La fecha de siembra fue 05/12/09 y la de cosecha 26/5/10.

El ENSAYO 2 se implantó en el establecimiento agropecuario “El Tapayo” (34°58'17" S, 65°14'43" O) ubicado 25 kilómetros al Sur de la localidad de Buena Esperanza, sobre Ruta Nacional N° 148, provincia de San Luis. La fecha de siembra fue 06/11/09 y la de cosecha 05/05/10.

El diseño experimental utilizado en cada ensayo fue en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones, con arreglo espacial en parcelas sub-divididas, siendo el híbrido el factor primario, el nivel de fertilización (con y sin) el factor secundario y la densidad de siembra el factor terciario. Se emplearon cinco híbridos: DK190MGRR2, DK747MGRR2, DK670MGRR2, AG6905 y AF7002 y cinco densidades de siembra: 5, 7, 9, 11 y 13 pl m⁻², por consiguiente, se evaluaron un total de 25 tratamientos por ensayo (ver Anexo I). Cabe aclarar que los materiales AG 6905 y AF 7002 eran, en ese momento, materiales experimentales.

El ancho de las parcelas fue de 2,1 m (cuatro surcos de maíz distanciados a 0,525m) y la longitud de 5 m. Cada bloque estaba compuesto por los 25 tratamientos y como ya se mencionó existían tres repeticiones, con lo cual cada ensayo tenía un total de 75 parcelas que cubrían una superficie cercana a los 800m² (ver Anexo I). En la periferia del ensayo se implantó un híbrido para evitar efecto bordura.

Las parcelas fueron implantadas con una sembradora de precisión especial para parcelas experimentales, de cuatro surcos distanciados a 0,525 m. La densidad de siembra fue superior a 15 pl m⁻² y posteriormente, cercano al periodo vegetativo V2 (Ritchie y Hanway, 1982) se realizó un raleo hasta alcanzar el número de plantas necesarias en cada parcela.

En ambos ensayos el cultivo antecesor fue soja, en aquellos tratamientos fertilizados las parcelas se fertilizaron en el estadio V6 (Ritchie y Hanway, 1982) del cultivo, se aplicó 200 kg N ha⁻¹ para asegurar que las plantas no sufrieran ningún estrés nutricional. Las malezas e insectos fueron adecuadamente controlados.

El suelo donde se realizó el ensayo en la localidad de Rio Cuarto (Córdoba) es un Haplustol típico, profundo, bien drenado, con un relieve en lomas extendidas a suavemente onduladas. El horizonte A se extiende hasta los 25 cm de profundidad, de textura franco limosa, tiene un contenido moderado de materia orgánica (2%) y una estructura en bloques subangulares medios moderados, se continúa con un Bw que pasa transicionalmente (BC) a un horizonte C con carbonatos libres diseminados en la masa de suelo (Jarsún *et al.*, 2003).

El suelo donde se realizó el ensayo en la localidad de Buena Esperanza (San Luis) es un Ustisament típico, genéticamente muy poco desarrollado, de perfil sencillo del tipo A-AC-C. El horizonte superficial (A1 o Ap) que se extiende hasta los 20 cm de espesor, está poco provisto de materia orgánica, débilmente estructurado. Sigue el horizonte de transición AC, muy poco expresado, solamente distinguible por cambios en la coloración y débil estructuración. Por último aparece el horizonte C, sin estructura y sin carbonatos de calcio antes del metro de profundidad (Peña Zubiarte y D'Hiriart, 1992).

Medición de caracteres

RENDIMIENTO PARA LAS DISTINTAS DENSIDADES: una vez alcanzada la R6 (Ritchie y Hanway, 1982) del híbrido, se procedió a recolectar a campo las espigas de 5 plantas en competencia perfecta. En laboratorio se procesaron y pesaron las muestras, se determinó la humedad y el peso de mil granos a través del pesaje de 3 muestras de 100 granos cada uno. Luego, con el peso de los mil granos y el número de granos por metro cuadrado se determinó el rendimiento por superficie. Dichas mediciones fueron tomadas sobre los dos surcos centrales de la parcela.

Análisis estadístico

RELACIÓN ENTRE DENSIDAD Y RENDIMIENTO: Utilizando los datos de rendimiento y densidad de plantas se ajustó con el software GraphPad Prism version 5.00 para Windows un modelo de respuesta del rendimiento a la densidad de tipo cuadrático (Andrade et al., 1996; Sarlengue *et al.*, 2007), como se observa en la Ecuación I, para cada híbrido en cada sitio, zona de manejo y bloque.

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = a + b D + c D^2 \quad [\text{Ecuación I}]$$

Donde a, b y c son parámetros del modelo. D es densidad en plantas ha⁻¹.

DENSIDAD ÓPTIMA AGRONÓMICA: La densidad óptima agronómica (DOA), se estableció como la primera deriva de la función de rendimiento (Ecuación I) del cultivo de maíz en relación a la densidad de plantas, donde se obtuvo un polinomio de segundo grado por cada híbrido (Ecuación II).

$$\text{DOA (plantas ha}^{-1}\text{)} = -b/2c \quad [\text{Ecuación II}]$$

Donde DOA es la densidad óptima de plantas (plantas ha⁻¹); b y c son los parámetros obtenidos de la ecuación I.

A partir de los datos obtenidos se realizaron las regresiones entre rendimiento y densidad mediante el software GraphPad Prism version 5.00 para Windows, (GraphPad Software, San Diego California USA) y se realizó la comparación estadística de las curvas obtenidas con el mismo programa.

RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción climática de la campaña

En la Figura 1 y 2 se presentan los datos de temperatura y precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo para la localidad de Río Cuarto y Buena Esperanza, respectivamente.

Durante la campaña 2009/2010 en la localidad de Río Cuarto se registró un total de 779,8 mm (Figura 1), teniendo en cuenta que la precipitación media anual normal es de 678,2 mm, con valores extremos mínimos de 405 mm en 2001 y máximos de 1134 mm en 1998, para los últimos 10 años (Cátedra Agro meteorología U.N.R.C., 2007). La precipitación media normal durante el ciclo del cultivo (Septiembre-marzo) es de 710 mm, (datos recolectados de la estación meteorológica ubicada en el campo) durante el ciclo en estudio las precipitaciones fueron superiores a las normales, en 69,8 mm.

En cuanto a los registros de temperatura, los días 21/01/10, 26/01/10, 27/01/10, 28/01/10 y 29/01/10 las temperaturas máximas del aire superaron los 35°C, por lo cual el cultivo habría estado bajo estrés térmico (Maddonni et al., 2012), estos días coincidieron con la etapa fenológica R1-R2 (Ritchie y Hanway, 1982), etapa coincidente con parte del periodo crítico para la definición del rendimiento, por lo cual el mismo puede verse afectado.

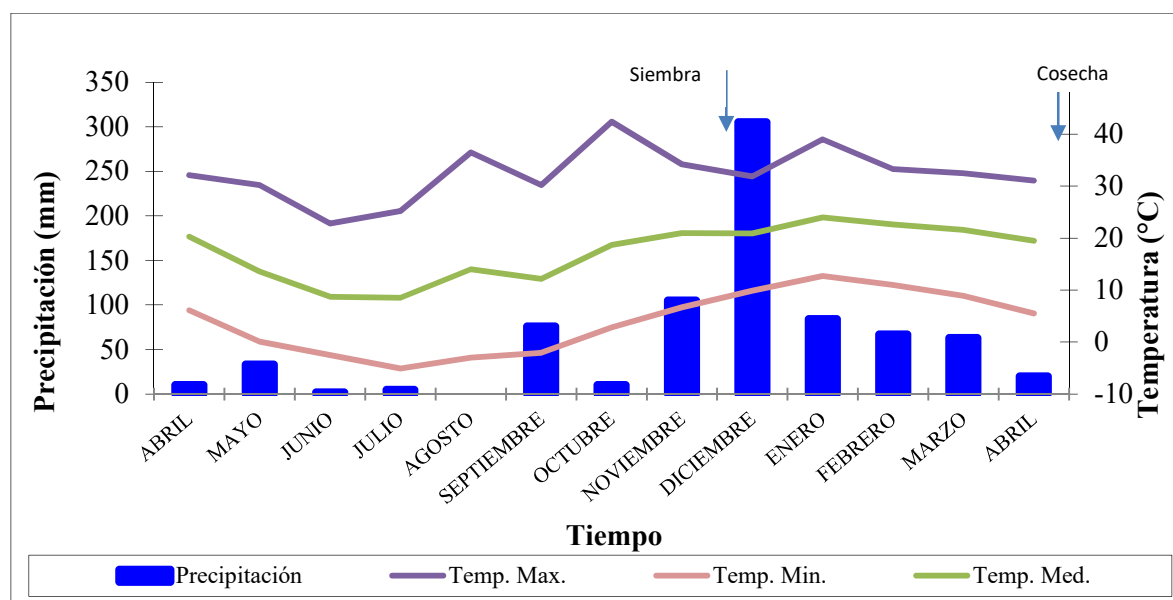


Figura 1. Precipitaciones -mm- (Columnas) y temperatura media, mínima y máxima -°C- (Línea) ocurridas durante el ciclo del cultivo para la localidad de Río Cuarto durante la campaña 2009/10.

En Buena Esperanza la precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo fue de 522 mm (Septiembre-marzo) (Figura 2), y el total durante el ciclo 2009/2010 fue de 562 mm, siendo la media anual para la zona de 500 mm (Carta de Suelos de la República Argentina, 1992), lo cual indica que al igual que en Río Cuarto, las precipitaciones durante la campaña fueron superiores a las normales, en 62 mm.

En cuanto a la temperatura, se observaron 16 días con estrés térmico, 16/11/2009, 19/11/2009, 20/11/2009, 11/01/2010, 16/01/2010, 20/01/2010, 21/01/2010, 23/01/2010, 24/01/2010, 26/01/2010, 27/01/2010, 28/01/2010, 29/01/2010, 12/02/2010, 20/02/2010, 07/03/2010, los cuales coincidieron con los estadios fenológicos de V3, V12, V13, R1, R2 y R3.

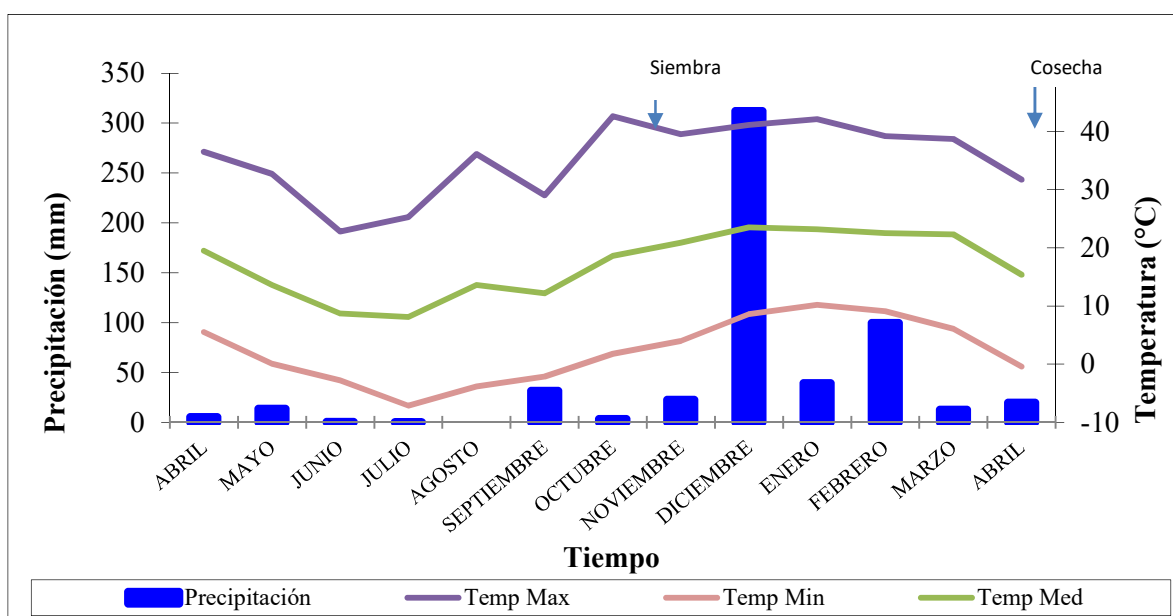


Figura 2. Precipitaciones -mm- (Columnas) y temperatura media, mínima y máxima -°C- (Línea) ocurridas durante el ciclo del cultivo para la localidad de Buena Esperanza durante la campaña 2009/10.

Respuesta del Rendimiento a la Densidad

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se presenta la respuesta del rendimiento del maíz a la densidad para los 5 genotipos evaluados en los distintos ambientes productivos (Río Cuarto Fertilizado; Río Cuarto No Fertilizado; Buena esperanza Fertilizado; Buena Esperanza No Fertilizado).

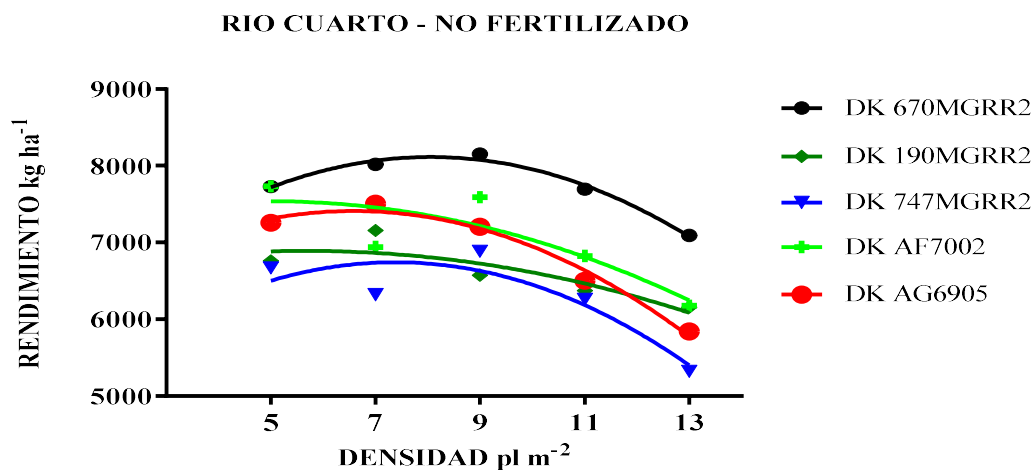


Figura 3. Rendimiento de maíz (kg ha⁻¹) para diferentes densidades (pl m⁻²) en el ambiente Río Cuarto – No fertilizado.

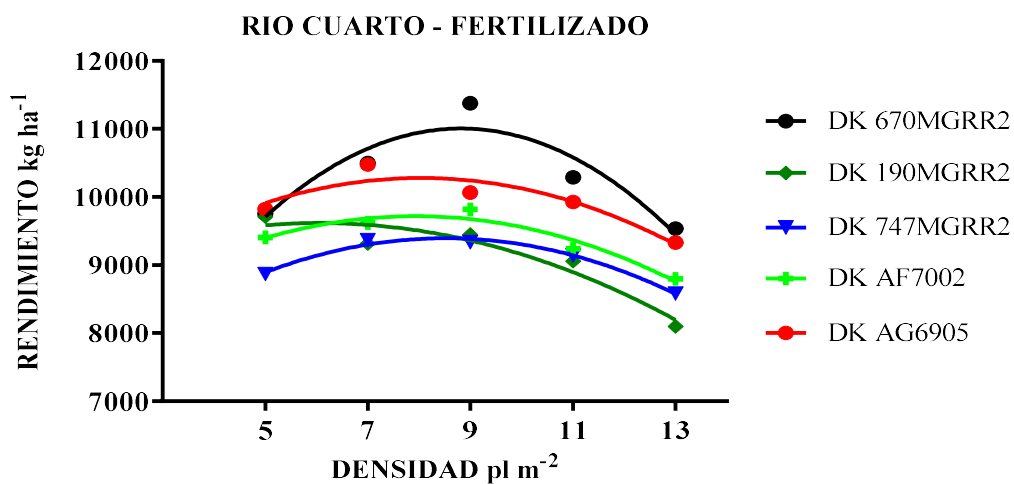


Figura 4. Rendimiento de maíz (kg ha⁻¹) para diferentes densidades (pl m⁻²) en el ambiente Río Cuarto - Fertilizado.

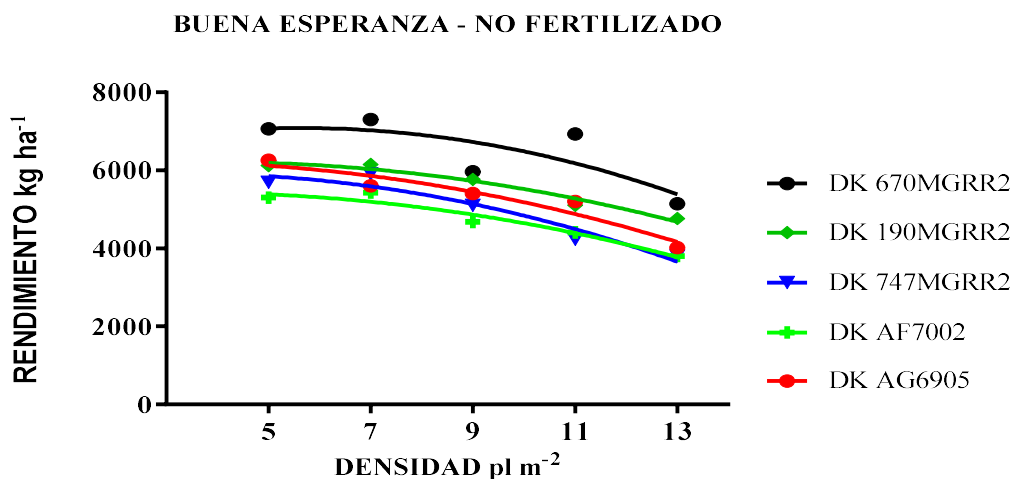


Figura 5. Rendimiento de maíz (kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en el ambiente Buena Esperanza – No fertilizado.

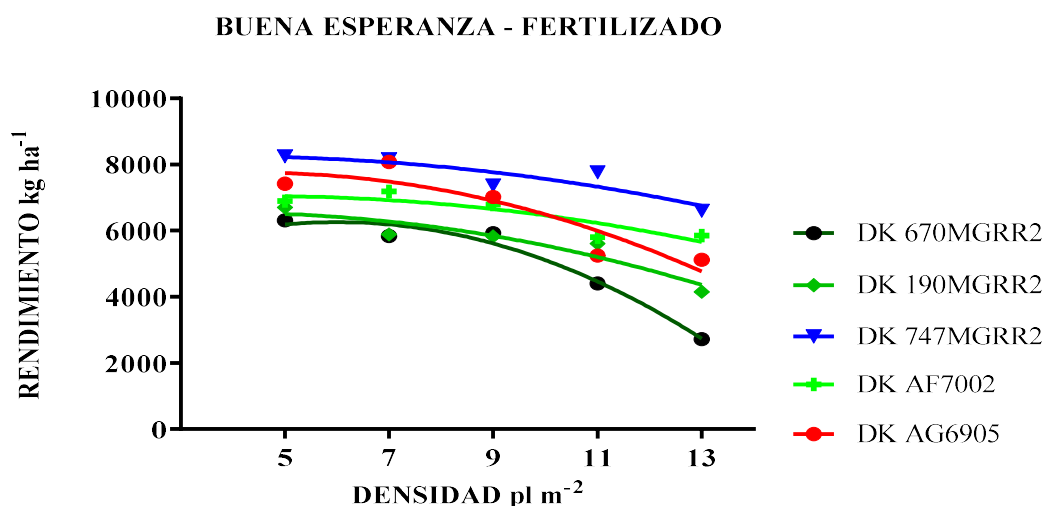


Figura 6. Rendimiento de maíz (kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en el ambiente Buena Esperanza - Fertilizado.

En las Figuras anteriores se observa la respuesta diferencial de los genotipos a cada ambiente, además se evidencia que en un mismo ambiente los genotipos responden de manera distinta.

Los ambientes productivos correspondientes a Río Cuarto (Fertilizado y no fertilizado) mostraron una mayor potencialidad, lo cual se ve en los mayores rendimientos alcanzados. Mientras que, en Buena Esperanza, los rendimientos fueron inferiores, esto podría deberse a que en esta última localidad el agua disponible durante el ciclo del cultivo fue inferior a la registrada en Río Cuarto (188mm), además de sufrir un mayor estrés térmico (Figura 1 y 2) durante los estadios fenológicos de V3, V12, V13, R1, R2 y R3, afectando el rendimiento del maíz. El mayor impacto de los episodios de

golpe de calor sobre el rendimiento se registró cuando los mismos ocurrieron en el período inmediato posterior a la floración femenina, determinando una menor fijación de granos y como consecuencia una caída en el índice de cosecha (Maddonni *et al.*, 2012).

En el ambiente de Río Cuarto no fertilizado, el híbrido DK 670 MGRR2 fue el que presentó los mayores rendimientos en todas las densidades, en tanto DK 747 MGRR2 fue el que menores rendimientos mostró, los híbridos restantes tuvieron comportamientos intermedios. En cuanto a la respuesta del rendimiento a la densidad en todos los genotipos la misma fue cuadrática centrando su óptimo en la densidad de 8-9 pl m⁻², excepto el DK 190 MGRR2 y AG 7002 en los cuales los mayores rendimientos se dieron en densidades más bajas (5 pl m⁻²).

Para el ambiente de Río Cuarto Fertilizado, las tendencias fueron similares a lo observado en la misma localidad pero sin fertilizar. Sin embargo, los rendimientos fueron superiores y las respuestas de cada genotipo difirieron entre ambientes ($F = 34,78 (57, 40)$).

La respuesta de los híbridos al agregado de una fuente nitrogenada fue notoria, es el caso de DK 670 MGRR2 a una densidad de 9 pl m⁻² se obtuvo 11378 kg ha⁻¹, si se compara este híbrido que sin la fertilización produjo 8150 kg ha⁻¹ en la misma densidad.

Al mejorar el ambiente a través de la fertilización la respuesta del rendimiento a la densidad de los híbridos DK 670 MGRR2 y DK190 MGRR2 fue mayor, mientras que el DK 747 MGRR2, AG 6905 y AG 7002 la respuesta fue menor.

En la localidad de Buena Esperanza, en ambos niveles de fertilización el rendimiento tiende a disminuir cuando se aumenta la densidad de plantas. Esto se debe a que incrementos en el stand de plantas no se traducen en mejoras en el rendimiento en grano para ambientes con restricciones hídricas severas (agua), debido a que el aumento en la cantidad de individuos genera competencia intra-específica por los recursos, generando disminuciones en la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico para la definición del rendimiento y por ende disminuyendo el N° de granos por planta (principal componente de rendimiento) e incluso generando plantas estériles por falta de tasa de crecimiento (Andrade *et al.*, 1999).

Cuando los recursos para el crecimiento se tornan limitantes se reduce la capacidad de las plantas para crecer durante la floración y aumenta el riesgo de aborto de granos. Dicho riesgo debe ser prevenido sembrando una menor densidad que permita mejorar la disponibilidad de recursos para cada planta y revertir su granazón, esta estrategia reportará beneficios de rendimiento mientras el incremento en la producción por planta supere la reducción en el número de plantas, desplazando la densidad óptima hacia menores valores (Andrade *et al.*, 1996). La cantidad de plantas con la que ambas variaciones se compensen mutuamente define el nuevo valor del óptimo. A medida que la oferta de recursos ambientales disminuye los rendimientos esperables se reducen, pero serán siempre mayores alrededor de la densidad óptima.

En las figuras 7, 8, 9, 10 y 11, se compara la respuesta de cada genotipo en los distintos ambientes en la campaña 2009/10, para determinar si existen diferencias en la adaptación a diferentes ambientes productivos y en su potencial de rendimiento.

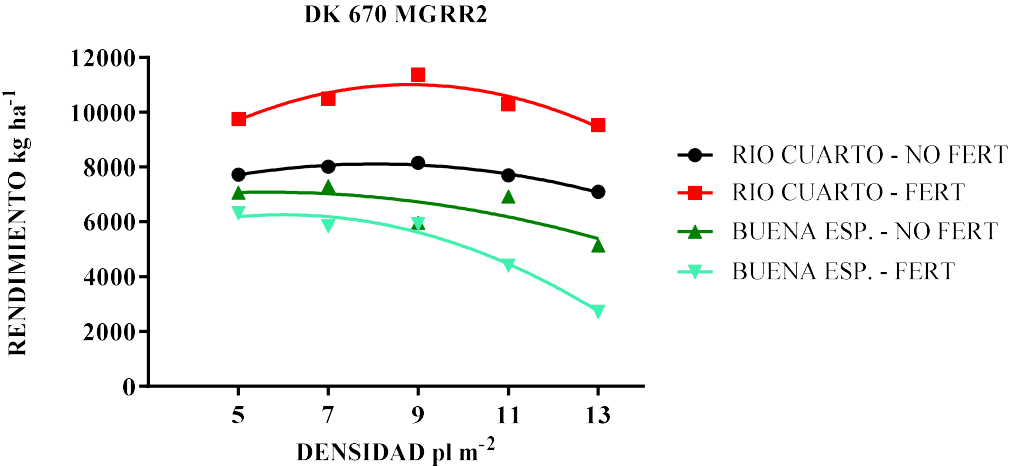


Figura 7. Rendimiento del híbrido DK 670 MGRR2 (kg ha⁻¹) para diferentes densidades (pl m⁻²) en todos los ambientes.

Se puede observar que para este híbrido DK 670 MGRR2 el mayor rendimiento se logró en el ambiente Río Cuarto fertilizado, y además el de mayor rendimiento para todas las densidades evaluadas. Si se compara la respuesta entre los distintos ambientes se observa como en Río Cuarto la respuesta es menor probablemente debido a que en Buena Esperanza los recursos son escasos (agua, nutrientes, etc.), por lo tanto, al aumentar la densidad se genera de manera anticipada la competencia por los recursos con respecto a Río Cuarto.

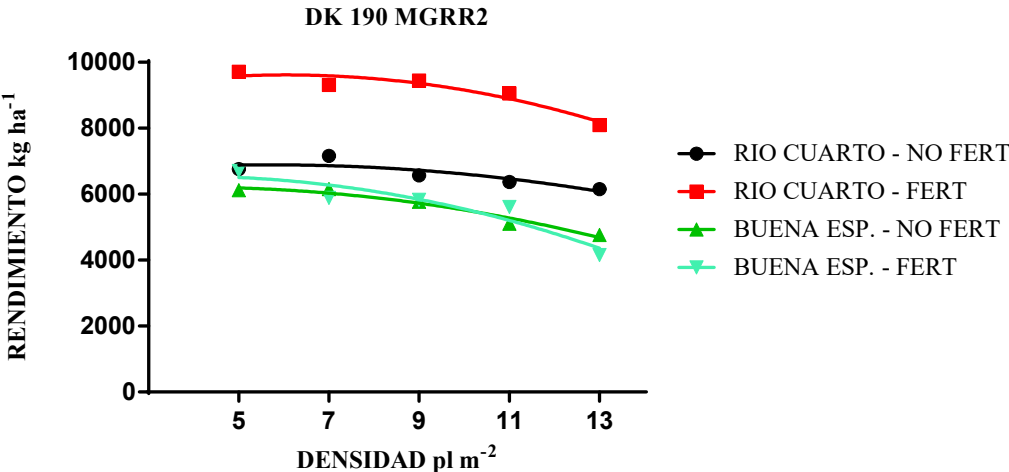


Figura 8. Rendimiento del híbrido DK 190 MGRR2 (kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en todos los ambientes.

Se repite la situación anterior, en donde un ambiente determina el rendimiento potencial de cada híbrido, esto se reproduce en cada uno de los híbridos evaluados, en este caso para el híbrido DK 190 MGRR2 demuestra una estabilidad tal para diferentes densidades de normales a bajas, pero decreciendo su rendimiento a medida que se aumenta la densidad, esto es muy importante ya que permite ahorrar dinero, ya que se utilizarían menos bolsas por hectárea.

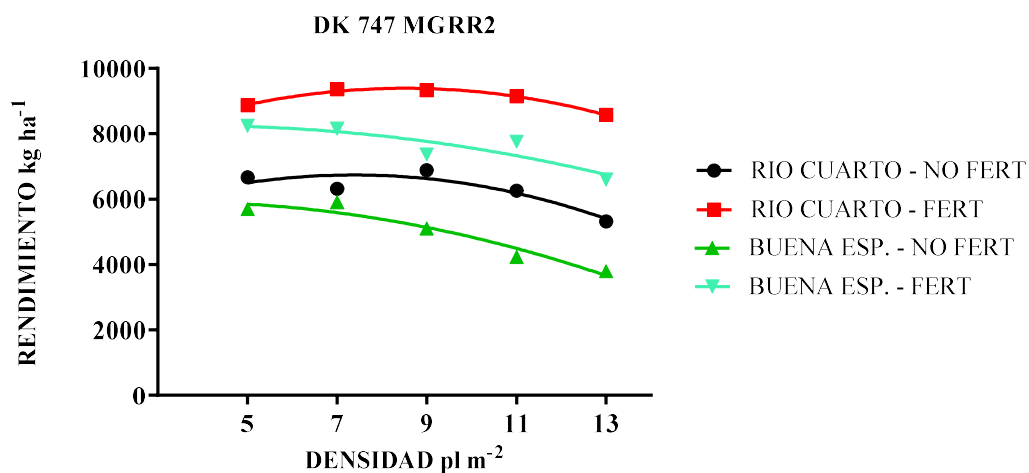


Figura 9. Rendimiento del híbrido DK 747 MGRR2 (kg ha^{-1}) para diferentes densidades (pl m^{-2}) en todos los ambientes.

El DK 747 MGRR2 demostró la particularidad de responder marcadamente a los diferentes ambientes, notándose la respuesta a la fertilización nitrogenada, en donde la aplicación de la misma generó un gran beneficio económico, ya que para diferentes densidades el comportamiento de la curva es similar en ambos casos, pero para el ambiente de Buena Esperanza las altas densidades afectan fuertemente el rendimiento, siendo conveniente disminuir la densidad.

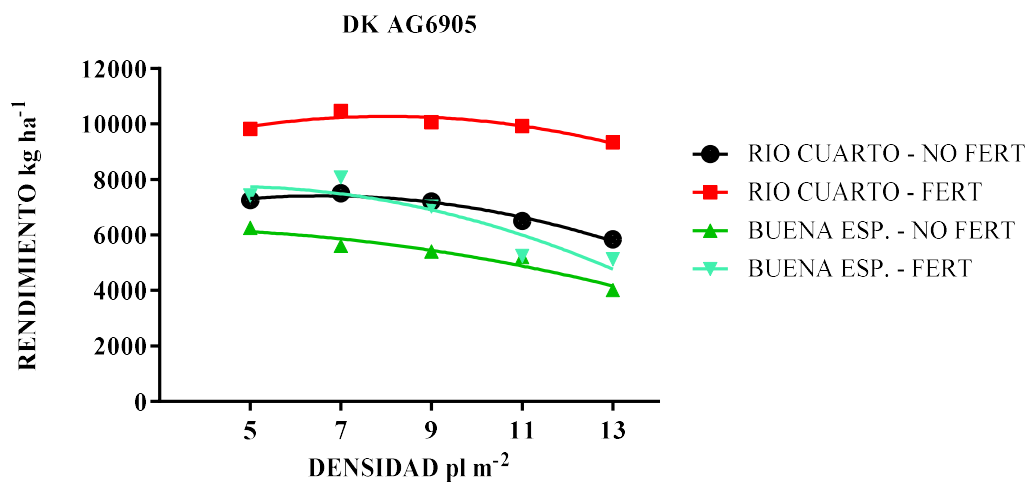


Figura 10. Rendimiento del híbrido DK AG6905 (kg ha⁻¹) para diferentes densidades (pl m⁻²) en todos los ambientes.

Este híbrido es un experimental DK AG6905, hoy en día no se conoce si está en el mercado, o cuál es su denominación, su característica principal es la alta respuesta al ambiente Río Cuarto fertilizado, manteniendo la producción de granos al incrementar la densidad, para los demás ambientes este híbrido se comportó de manera similar, en donde aumentos en la densidad el rendimiento fue afectado fuertemente.

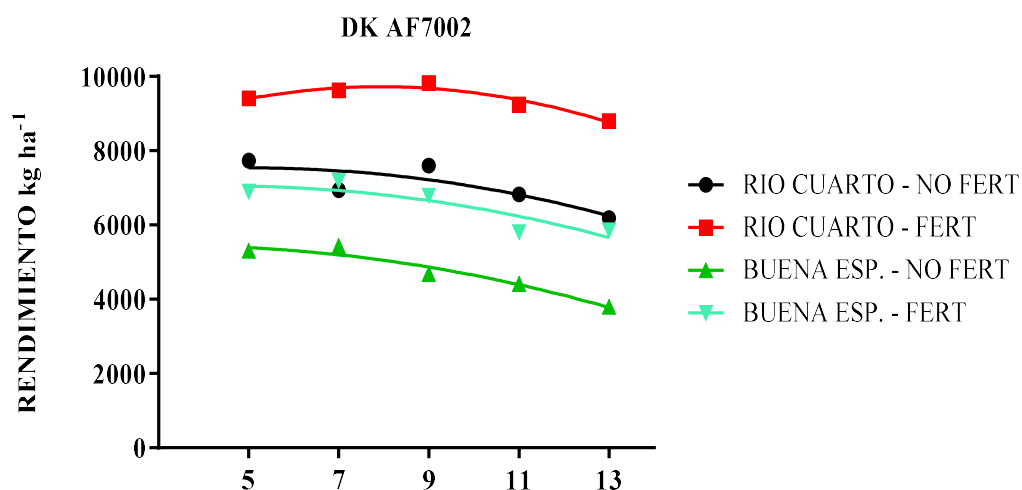


Figura 11. Rendimiento del híbrido DK AF7002 (Kg ha⁻¹) para diferentes densidades (pl m⁻²) en todos los ambientes.

El híbrido DK AF7002 mantuvo curvas similares para los diferentes ambientes, pero entre ellas fuertes diferencias de rendimiento, esto demuestra su estabilidad ante diferentes densidades, pero

cambios entre los ambientes productivos, esta característica permitirá elegir este híbrido manejando una densidad baja en la mayoría de los ambientes.

Un pronunciado incremento en el aborto de estructuras reproductivas en las densidades excesivas, y la escasa capacidad de compensación en las densidades reducidas explican esa inestabilidad en maíz. Asimismo, altas densidades pueden provocar incrementos en la variabilidad planta-planta (Vega y Sadras, 2003) que disminuyen la eficiencia de fijación de granos (Vega *et al.*, 2001) y el índice de cosecha a nivel de individuos (Vega *et al.*, 2000) en una proporción de plantas que dependerá del genotipo. El componente del rendimiento más afectado por la densidad es el número de granos que alcanzan la madurez (Tollenaar *et al.*, 1992; Andrade *et al.*, 1996).

Al analizar las figuras anteriores, puede observarse como la respuesta del genotipo dependen del ambiente donde se cultivan, esto coincide con lo planteado por Forján y Manso (2013) quienes recomiendan como primer paso definir el ambiente de producción, dado por el tipo de suelo y el clima (régimen de precipitaciones, temperatura, radiación, ocurrencia de heladas). La combinación de ambos factores determina el techo de producción del cultivo. Por ejemplo, en un lote asignado a la siembra de maíz, que manifiesta ciertas limitaciones o la región presenta un régimen hídrico que habitualmente resulta deficitario para las necesidades del cultivo, lo correcto sería seleccionar un híbrido que se destaque por su estabilidad de producción. Para saber que híbrido elegir se evalúa el comportamiento de los genotipos a través de varios años con lo que nos aseguramos la selección de materiales que han demostrado una producción más segura en distintos ambientes (mayor adaptación). Una vez determinado el ambiente de producción y seleccionado el híbrido para este ambiente en particular, se debe tener en cuenta las diferentes características agronómicas, como, por ejemplo: la tolerancia al Mal de Rio Cuarto, duración del ciclo, dureza de caña, comportamiento ante diferentes enfermedades e insectos, etc. (Maizar, 2006).

La oferta de recursos (radiación, agua, etc.) es diferente de acuerdo al ambiente, también varían las propiedades físicas y químicas de los suelos (Bongiovanni *et al.*, 2006; Espósito, 2013). La variación en la respuesta del rendimiento de maíz a la densidad de plantas entre ambientes coincide con los resultados encontrados por otros autores quienes hallaron que esta relación cambia con el ambiente (Bragachini *et al.* 2012; Horbe *et al.*, 2013; Martinez Bologna *et al.*, 2014; Cerliani *et al.*, 2014).

Densidad Óptima Agronómica

En la Tabla 1 se presenta la densidad óptima agronómica (DOA) para cada genotipo en cada ambiente analizado y el rendimiento calculado para dicha densidad.

Tabla 1. Densidad óptima agronómica (p m^{-2}) y rendimiento (kg ha^{-1}) para distintos genotipos en distintos ambientes.

LOCALIDAD	TRATAMIENTO	HIBRIDO	DOA (P m^{-2})	RTO (Kg Ha^{-1})
RIO CUARTO	FERTILIZADO	DK670MGRR2	8,82	11004,6
RIO CUARTO	FERTILIZADO	DK190MGRR2	6,05	9617,0
RIO CUARTO	FERTILIZADO	DK747MGRR2	8,51	9393,6
RIO CUARTO	FERTILIZADO	AF7002	7,93	9717,6
RIO CUARTO	FERTILIZADO	AG6905	8,04	10276,9
RIO CUARTO	SIN FERTILIZAR	DK670MGRR2	8,06	8113,4
RIO CUARTO	SIN FERTILIZAR	DK190MGRR2	5,69	6889,9
RIO CUARTO	SIN FERTILIZAR	DK747MGRR2	7,38	6742,4
RIO CUARTO	SIN FERTILIZAR	AF7002	4,99	7536,8
RIO CUARTO	SIN FERTILIZAR	AG6905	6,59	7410,6
BUENA ESPERANZA	SIN FERTILIZAR	DK670MGRR2	6,01	6259,6
BUENA ESPERANZA	SIN FERTILIZAR	DK190MGRR2	3,82	6214,5
BUENA ESPERANZA	SIN FERTILIZAR	DK747MGRR2	3,27	5920,8
BUENA ESPERANZA	SIN FERTILIZAR	AF7002	3,31	5435,0
BUENA ESPERANZA	SIN FERTILIZAR	AG6905	2,55	6232,2
BUENA ESPERANZA	FERTILIZADO	DK670MGRR2	5,60	7084,9
BUENA ESPERANZA	FERTILIZADO	DK190MGRR2	3,78	6543,5
BUENA ESPERANZA	FERTILIZADO	DK747MGRR2	3,75	8250,5
BUENA ESPERANZA	FERTILIZADO	AF7002	4,42	7050,7
BUENA ESPERANZA	FERTILIZADO	AG6905	4,43	7751,4

En los ambientes más productivos (Río Cuarto fertilizado) la DOA (promedio de todos los híbridos) fue mayor alcanzando mayores rendimientos y en los ambientes menos productivos (Buena Esperanza no fertilizado) los mayores rendimientos se lograron con las DOA más bajas. No obstante, la DOA para cada situación difirió entre híbridos, lo cual se asocia a la interacción G x A. Esto podría explicarse por el hecho de que en los ambientes de menor calidad (o sea, menor disponibilidad de recursos, como agua y/o nutrientes). Aumentos en la población de plantas generan una alta competencia intraespecífica (Horbe *et al.*, 2013) generando disminuciones en la tasa de crecimiento por planta y por ende en el número de granos (Andrade *et al.*, 1999).

Se modificó la DOA al cambiar la calidad entre los diferentes ambientes. Los resultados encontrados por Hernández *et al.* (2014), hallaron diferencias en la DOA entre distintos años de

evaluación y genotipos, los cuales generaron distintos ambientes productivos en los distintos años de estudio.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permiten concluir que la respuesta del rendimiento a la densidad cambian con el ambiente productivo y con el genotipo, existiendo una marcada interacción genotipo:ambiente en dicha respuesta.

Por otro lado, la DOA también es afectada por esta interacción. Siendo superior en los ambientes más productivos para todos los genotipos, además dentro de cada ambiente la misma difiere según el genotipo empleado.

Por lo tanto este estudio deja en evidencia la necesidad de ajustar la densidad de siembra para cada genotipo y en cada ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- AGROFY.COM.AR, 2017. Etanol: los 7 puntos que dan cuenta de la supremacía de Estados Unidos. En: <https://news.agrofy.com.ar/noticia/166330/etanol-7-puntos-que-dan-cuenta-supremacia-estados-unidos>
- ALBRECHT, R.; ANDRIANI, J.; CASTELLARÍN, J. M.; DE EMILIO, M.; FERRAGUTI, F.; GENTILI, O.; GERSTER, G.; MALMANTILE, A.; MARTINS, L.; MÉNDEZ, J. M.; PAGANI, R.; PEDROL, H. M.; PRIETO, G.; ROSSI, J.; ROSSO, O. Y TRENTINO, N. 2009. Evaluación de híbridos de maíz en el centro - sur de Santa Fe. Resultados de la Red INTA Oliveros, campaña 2008/09. En: Para Mejorar la Producción N° 41. Págs. 7 – 34
- ANDRADE, F. H., S. UHART y M. I. FRUGONE. 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade vs plant density effects. *Crop Science*, 33:482-485.
- ANDRADE, F.H.; A. CIRILO; S. UHART Y M. OTEGUI. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. (1^{ra} ed.). Ed. La Barrosa, Balcarce, Buenos Aires. 292p
- ANDRADE, F.H 2005. SAFV, Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal. Archivo de publicaciones. En: <http://www.safv.com.ar/Andrade0705.pdf>.
- ANDRADE F., CIRILO A., UHART S., OTEGUI M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa, Balcarce. Buenos Aires. Pp: 264
- BANZIGUER, M., G.O. EDMEADES, y H.R. LAFITTE. 2002. Physiological mechanisms contributing to the increased N stress tolerance of tropical maize selected for drought tolerance. *Field Crop Research* 75: 223-233.
- BONGIOVANNI, MD & JC LOBARTINI. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, and humic acid contents in soil macroand microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma* 136: 660-665.
- BRAGACHINI, M., MÉNDEZ, A., SCARAMUZZA, F., VILLARROEL, D. & VÉLEZ, J.P. (2012) Ensayo de larga duración de manejo de insumos en forma variable. INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/ensayo-de-largaduracion-de-manejo-deinsumos-en-forma-variable/>
- CARTA DE SUELOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. Hoja Buena Esperanza. 1992. Provincia de San Luis, 8 p.
- CATEDRA AGRO METEOROLOGIA, UNRC. 2007.
- CERLIANI, C., GOMEZ, M. F., NAVILLE, R., BALBOA, G., & ESPÓSITO, G. (2014). Densidad de siembra optima de maíz (*Zea mays*) ajustada por zonas de manejo. X Congreso del maíz HD. Una mirada en alta definición. AIANBA, Buenos Aires, Argentina
- DAYNARD, T. B. y J. F. MULDOON, 1983. Plant-to-plant variability of maize plants grown at different densities. *Canadian journal of Plant Science*, 63:45-59.

- DE LA VEGA, A.J., 2000. Interacción Genotipo x Ambiente y mejoramiento de Girasol para las regiones Central y Norte de Argentina. Tesis doctoral Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- DOWSWELL, C.D., PALIWAL, R.L. & CANTRELL, R.P. 1996. Maize in the third world. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- ECHARTE, L., F.H. ANDRADE, C.R.C. VEGA, y M. TOLLENAR, 2004. Kernel number determination in Argentinean Maize Hybrids Released between 1965 and 1993. *Crop Science* 44, 1654-1661.
- ESCÓBAR SALAS F. 2005, corresponsal del Servicio Informativo de la OEI (Organización de Estados Iberoamericanos). UVA (Union Vegetariana Argentina). Tras las huellas del origen del Maíz. En: www.uva.org.ar/zeamayz.html.
- ESPÓSITO, G. P. (2013). Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto espacial (MEME). Tesis para optar al grado de Doctor. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 108 p.
- FAO. 2017. Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO: Brasil superará a Estados Unidos como el mayor productor de soja para 2026. En: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/979790/>.
- FASOULA, V.A., y D.A. FASOULA, 2002. Principles underlying genetic improvement for high and stable crop yield potential. *Field Crop Research* 75:191-209.
- FERY, RICHARD L. Y JANICK, JULES 1971. Article: Response of Corn (*Zea mays* L.) to Population Pressure *Crop Sci.* 11: 220-224
- FORJAN, H. Y MANSO, L. 2013. Maíz: Analizando el momento de sembrar. *Revista AgroBarrow* N°53. Ediciones INTA ISSN 0328 1353.
- FYO. 2014. Campaña de maíz 2013/2014. El maíz mundial 13/14. Disponible en: http://www.fyo.com/especiales/maiz13-14/campana_mundo.php.
- GALINAT, W.C. 1988. The origin of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, Madison, WI, USA, American Society of Agronomy. 3rd ed., p. 1-31.
- 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.
- HÖRBE, T. A. N., AMADO, T. J. C., FERREIRA, A. D. O., & ALBA, P. J. (2013). Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. *Precision Agriculture*, 14(4), 450-465.
- JARSUN B., GORGAS J. A., ZAMORA E., BOSNERO E., LOVERA E., RAVELO A. Y TASSILE J. L., 2003. Los Suelos. Agencia Córdoba Ambiente D.A.C. Y T.S.E.M. Dirección de Ambiente e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA Manfredi. Córdoba.
- KARLEN, D. L. y C. R. CAMP. 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. *Agronomy Journal*, 77:393-398.

- MADDONNI, G. A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 107 3-4, 325-345.
- MAGARI, R. AND M. KANG. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica* 70:105-111.
- MAIZAR, 2010. Maíz: La oportunidad que no debemos perder. En: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=350>.
- MAIZAR, 2006. Puntos a tener en cuenta al momento de seleccionar un híbrido de maíz para su siembra. En: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=155>
- PALIWAL, L. RIPUSUDAN. (2001). “El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción”. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s02.htm#P0_0.
- PAPAROTTI, O. F. y O. R.VALENTINUZ. 2004. INTA Paraná. Rendimiento Potencial y Tolerancia al Estrés en Maíz. En: www.inta.gov.ar/PARANA/info/documentos/produccionvegetal/maiz/analisis_economico/renpot_maiz.htm.
- PEDROL, H. M.; FERRAGUTI F. Y CASTELLARÍN J. M. 2009. Evaluación de híbridos de maíz en el centro-sur de Santa Fe. Resultados de la Red INTA Oliveros.
- PEÑA ZUBIATE, CA; DL ANDERSON; MA DEMMI; JL SAENZ & A D’HIRIART. 1998. Carta de Suelos y Vegetación de la provincia de San Luis. 115 pp.
- REA R. y O. DE SOUSA VIEIRA. 2001. Interacción Genotipo - Ambiente y análisis de estabilidad en ensayos regionales de caña de azúcar en Venezuela. *Caña de Azúcar* Vol. 19: 3-15, 2001.
- REEDER, L.R. 1997. Breeding for yield stability in a commercial program in the USA. P.387-391. In G.O. Edmeades et al. (ed.) *Developing drought and low N tolerance maize*. CIMMYT, El Batán, México. pp 566.
- RITCHIE, S.W. Y J.J. HANWAY. 1982. “How a corn plant develops”, Iowa State Coop. Ext. Serv. Spec. Rep., 48. En: SATORRE, E.H.; R.L. BENECH ARNOLD; G.A. SLAFER; E.B. DE LA FUENTE; D.J. MIRALLES; M.E. OTEGHI y R. SAVIN. *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. p: 135-163.
- 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.
- SATORRE E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (Ed). *Las Ciento y Una: “Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne*. Buenos Aires: Bolsa de Cereales, pp 37-38.

- SOLSONA, M., SALINES, A., VISSANI, C., PIUMA SILVA., M. 2013. Análisis de destinos alternativos de la producción de maíz en el área de influencia de Marcos Juárez Córdoba.
- TOLLENAR, M. y E.A. LEE. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crop Res.*75: 161-169.
- TOLLENAAR, M., L.M. DWYER AND D.W. STEWART, 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Science.* 32:432-438.
- TROYER, A.F. 1996. Breeding widely adapted, popular maize hybrids. *Euphytica* 92: 163-174.
- VALLONE, P.; GUDELJ, V.; GALARZA, C.; MASIERO, B.; FERREIRA, L.; CANALE, A. 2010. Ensayo de densidad y distancia de siembra en maíz.
- VEGA, C.R.C. AND V.O. SADRAS, 2003. Size-dependent growth and the development of inequality in maize, sunflower and soybean. *Annals of Botany* 91:795-805.
- VEGA, C.R.C.; F.H. ANDRADE, V.O. SADRAS, S.A. UHART AND O.R. VALENTINUZ, 2001A. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. *Crop Science* 41:748-754.
- VEGA C.R.C.; F.H. ANDRADE AND V.O. SADRAS, 2000. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Research*, 72:163-175.
- WATSON, S.A. 1988. Corn marketing processing and utilization. En: DUDLEY, J.W. Y G.S. SPRAGUE (eds.) *Corn and corn improvement* (3ª ed.). American Society of Agronomy, Inc. Publishers. Madison, Wisconsin, USA. Series Agronomy N° 18.
- WILKES, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, 30: 209-223.
- YANG, R. AND R. BAKER. 1991. Genotype – environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31:83-87.

ANEXO

Croquis del ensayo Microparcels.

