

Cordido, Lucas

Efecto de densidad de siembra y ambiente, sobre el rendimiento de tres híbridos de maíz de siembra tardía en el oeste arenoso, Provincia de Buenos Aires

**Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria
Facultad de Ciencias Agrarias**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Cordido, L. 2013. Efecto de densidad de siembra y ambiente, sobre el rendimiento de tres híbridos de maíz de siembra tardía en el oeste arenoso, Provincia de Buenos Aires [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en:
<http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/efecto-densidad-siembra-ambiente-rendimiento.pdf>
[Fecha de consulta]

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Producción Agropecuaria

Efecto de densidad de siembra y ambiente, sobre el rendimiento de tres híbridos de maíz de siembra tardía en el oeste arenoso, provincia de Buenos Aires.

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria**

Autor: Lucas Cordido

Profesor Tutor: Dra. María Luz Zapiola

Fecha: 06/03/2013

Modalidad: Experimental.

Resumen

Los sistemas de producción de las principales especies de cultivos de grano han provocado, en sus respectivas regiones, cambios de gran magnitud en distintas escalas de análisis, desde el paisaje, hasta el agroecosistema, las comunidades y las poblaciones. Estas transformaciones han llamado la atención sobre la capacidad de mantener la productividad y realizar un manejo sustentable de recursos en las áreas donde se producen, abriendo las puertas a un debate amplio sobre las bases funcionales, diseño y manejo de los sistemas productivos modernos (Satorre, 2010).

En maíz, en particular, el rendimiento depende íntimamente de la interacción del genotipo con el ambiente (Andrade, 1996). El oeste arenoso (Provincia de Bs.As) presenta diferentes ambientes que poseen características distintas en cuanto a tipo de suelo, temperatura y precipitaciones, donde el cultivo de maíz tiene un comportamiento diferencial. Es necesario evaluar a lo largo de varios años, cómo aumentar y estabilizar los rendimientos, para desarrollar rotaciones y paquetes tecnológicos diferentes según la aptitud productiva de cada ambiente.

El objetivo de este ensayo fue evaluar el rendimiento, y sus componentes, de tres híbridos de maíz (*Zea mays*) frente a diferentes densidades de siembra y ambientes productivos para una fecha de siembra tardía en 30 de Agosto (oeste arenoso), provincia de Buenos Aires. Se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques completos aleatorizados, con tres factores: ambiente (loma y bajo), densidad de siembra (9; 7,5; 6 y 4,5 pl m⁻²) e híbrido (DK747, DK699 y DK670). Precosecha se realizó el conteo de plantas m⁻¹ y espigas pl⁻¹. A cosecha se evaluaron el rendimiento y sus componentes.

El número de plantas ha⁻¹ fue afectado por la densidad de siembra, el mayor número de plantas se observó en la densidad de 9 pl m⁻². El número de plantas no está afectado por ninguno de los otros factores por lo que se atribuye este valor a la eficiencia con que se realizó la siembra. El número de espigas pl⁻¹ se vio afectada por el híbrido y la densidad de plantas, observándose la mayor cantidad de espigas pl⁻¹ (1,41 espigas pl⁻¹) para la densidad de 4,5 pl m⁻² y de 1,31 espigas pl⁻¹ para el híbrido DK 747. El rendimiento en grano mostró diferencias entre los ambientes, siendo el rendimiento del bajo mayor que el de la loma con 9202 y 7925 kg ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento del bajo fue un 16,11% superior al de la loma.

No hubo efecto sobre el rendimiento de ninguno de los otros factores, sin embargo, los componentes del rendimiento (peso de grano, y los que afectan al número de granos) fueron afectados por la densidad, el híbrido o el ambiente, o una combinación de ellos. El peso de mil granos fue afectado por las interacciones ambiente x híbrido e híbrido x densidad. Los mayores pesos de mil granos fueron para los híbridos DK 699 y DK 670 en el bajo con 0,340 y 0,360 kg mil granos⁻¹ respectivamente, no habiendo diferencia entre ellos. Por otro lado los pesos más bajos fueron para la loma en los híbridos DK 747 y DK 670 con 0,270 y 0,290 kg mil granos⁻¹ respectivamente. Con respecto a la segunda interacción se vio menor variabilidad, siendo el menor peso de mil en el híbrido DK 747 para tres de las densidades (6; 7,5 y 9 pl m⁻²) menos la de 4,5 pl m⁻². El resto de los híbridos con todas las densidades, inclusive el DK 747 con la densidad de 4,5 pl m⁻², no mostraron diferencias. El número de hileras espiga⁻¹, un atributo muy influenciado

por el genotipo en maíz, fue afectado por el híbrido. El mayor número de hileras espiga⁻¹ se determinó para el híbrido DK 699 con un promedio de 16 hileras espiga⁻¹. El número de granos hilera⁻¹ y el número de granos espiga⁻¹ fueron afectados por las mismas interacciones que el peso de mil granos (ambiente x híbrido e híbrido x densidad). El número de granos hilera⁻¹ fue mayor para los híbridos DK747 y DK699 en el bajo, y el DK670 en la loma.

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 por la expansión en superficie como así también por un aumento de la productividad a través de un mayor uso de tecnología (Satorre, 2003). En general los lotes agrícolas presentan cierta heterogeneidad que resulta de diferencias muy marcadas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos determinando así ambientes con diferente aptitud productiva. Con este trabajo demostramos que, conociendo de manera más detallada los ambientes y la tecnología que mejor se adapta a ellos, podremos ser muy eficientes a la hora de decidir sembrar maíz, disminuyendo riesgos y costos innecesarios.

Índice

Resumen.....	3
Índice.....	4
Introducción	5
Materiales y Métodos.....	7
Resultados	10
Discusión	14
Conclusiones.....	15
Bibliografía	16
Anexos.....	19

Introducción

La producción de cultivos de grano tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial. Con el crecimiento de la población humana, la demanda por los cultivos de cereales y oleaginosas aumentó, llevándolos a éstos a ocupar la mayor parte de la superficie sembrada en las aéreas más productivas del mundo.

El grano de maíz (*Zea mays*) es uno de los productos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus bondades y multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su producción (más de 795 millones de toneladas en 2009-2010, de las cuales el 90% corresponden a maíz amarillo y el 10% restante a maíz blanco, superando al trigo y al arroz (Fenalace, 2010). Asimismo, el cultivo de maíz ocupa el segundo lugar en área de siembra mundial, con alrededor de 140 millones de hectáreas en 135 países, y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas (Fenalace, 2010).

Hoy el maíz constituye un alimento básico en partes de América Central, Sudamérica, África, Sudeste Asiático y China. En Estados Unidos las comidas basadas en maíz se convirtieron en platos suplementarios en el menú y, actualmente, el consumo de copos y de otros productos alimenticios listos para comer, basados en maíz, es alto (Watson, 1998). En otro orden, por su gran productividad, excelente palatabilidad y alto contenido nutricional, el maíz ha ido reemplazando a otros cereales en la alimentación animal. Además, este cultivo tiene una gran cantidad de usos industriales, como ser la producción del almidón, biodiesel, edulcorantes, alcohol, jarabes, acetona y aceites (Watson, 1998).

El área de siembra de maíz en la Argentina es de aproximadamente 2,41 millones de hectáreas, de las cuales 2,18 millones se cosechan como grano seco o con alta humedad para forraje y 230.000 hectáreas son destinadas a silaje de maíz o consumo directo. Argentina participa en un 2% de la producción mundial, exporta cerca del 65% (segundo exportador mundial), con tendencia creciente y destina al mercado interno la diferencia (Made in Argentina, 2010). Del volumen total para el consumo interno, más de un 80% se destina a la alimentación animal bajo las formas de balanceados, silaje de maíz, derivados de la molienda o directamente grano entero, partido y/o molido, siendo el consumo en chacra y la molienda en su conjunto los principales demandantes del maíz internamente (Made in Argentina, 2010).

El rendimiento en grano del cultivo de maíz ha aumentado continuamente desde la introducción de los híbridos a mediados de 1930, primero en los Estados Unidos y luego en el resto del mundo (Duvick, 2005). Para los Estados Unidos, la ganancia total estimada para este carácter durante el período 1939-2004 fue de 100 Kg ha⁻¹ año⁻¹ (Tollenaar y Lee, 2006), y un valor similar (105 Kg ha⁻¹ año⁻¹) se obtuvo para la Argentina entre 1979 y 1990, lo que se debió al aumento del potencial de rendimiento, al mejoramiento de las prácticas de manejo y a una interacción entre ambos factores (Russell, 1984).

El rendimiento de un cultivo está determinado por su genotipo y el impacto del ambiente sobre su capacidad de crecimiento y partición de materia seca hacia destinos reproductivos (Gifford y otros, 1984). En consecuencia, la expresión de atributos fenotípicos de interés, como el rendimiento y caracteres asociados a la

calidad, está determinada en diferentes proporciones, por efectos del ambiente, del genotipo y a la interacción genotipo x ambiente.

Un cultivo está constituido por un conjunto de plantas cuyo fondo genético, en maíz normalmente similar o uniforme entre individuos, representa al genotipo. Por lo tanto, el genotipo comprende el conjunto de genes que determinan la expresión de un carácter o caracteres de interés (De la Vega y De la Fuente, 2010). El ambiente por su parte comprende todos los factores no genéticos que modifican la expresión de un genotipo. Como tal, el ambiente, está determinado por factores físicos predecibles (por ejemplo, nivel de materia orgánica del suelo o su contenido de nitrógeno) e impredecibles (como la magnitud de las precipitaciones o la temperatura); por agentes bióticos (nivel de plagas o enfermedades) y por variables de manejo que alteran la interacción del genotipo con el ambiente de producción en un sitio determinado (Satorre, 2008). La interacción genotipo x ambiente que se da en el sistema de producción de una especie cultivada puede definirse como la combinación de una población de ambientes y una población de genotipos. El entendimiento de los efectos de factores ambientales sobre el rendimiento es, en ocasiones, mayor para el caso de los factores bióticos que para el de los factores abióticos. En correspondencia, las respuestas de parte del mejoramiento genético han sido más rápidas y efectivas en la selección de genotipos resistentes a enfermedades, que en la selección de genotipos adaptados a factores abióticos de un determinado sistema de producción. Cuando se evalúan dos o más genotipos en ambientes diferentes, las interacciones entre el genotipo y el ambiente se detectan como diferencias significativas en el comportamiento relativo de los genotipos (Basford y Cooper, 1998). Ambiente y genotipo interactúan y provocan diversidad de comportamientos y resultados en cada campaña en las distintas regiones.

Particularmente la región del oeste arenoso presenta gran diversidad de ambientes productivos, por lo que no hay una tecnología unificada. Uno de los factores que resumen una mayor proporción de las características del ambiente (lluvias, relieve, laboreo, rotación) es el contenido de materia orgánica y tipo de suelo. Otro factor es el relieve, ya que no es lo mismo tener un 2% de materia orgánica en una loma que un 2% en un bajo o en una media loma dentro de la región. Es importante aclarar que, en el sistema productivo del oeste arenoso, gran parte de la agricultura se realiza sobre superficie alquilada y a gran escala, dos factores que conspiran contra el conocimiento de los ambientes (Muñoz, 2008)

El maíz es, sin duda, una de las especies cultivadas que ofrece mayor respuesta a la aplicación de tecnología. Entre los factores que inciden sobre su rendimiento algunos tienen carácter definitorio y, por lo general están asociados a decisiones vinculadas a la estructura del cultivo. Entre estos factores la elección de un determinado híbrido (su fenología y su comportamiento agronómico) es uno de los más importantes, tanto por su influencia sobre el rendimiento potencial, el resultado y el manejo del cultivo, como su participación en los costos directos de producción (Satorre 2008).

En el cultivo de maíz los rendimientos máximos que se obtienen bajo condiciones de manejo óptimo, son una expresión del comportamiento potencial del cultivo, y puede ser tomado como un punto de referencia toda vez que interese comparar ambientes, variedades, técnicas de manejo o sistemas de producción (Andrade y otros 1996). Las condiciones climáticas durante el período de crecimiento, en

especial alrededor de floración, junto con variables de sitio como la productividad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, afectan el rendimiento alcanzable (Dardanelli y otros, 2003).

Una forma de expresar el rendimiento del maíz (kg ha^{-1}) consiste en multiplicar el número de granos producidos por unidad de superficie (granos ha^{-1}) por su peso (kg grano^{-1}). A su vez, el número de granos es producto del número de plantas por unidad de superficie o densidad (pl ha^{-1}), del número de espigas granadas por planta o prolificidad (espigas pl^{-1}), y del número de granos por espiga ($\text{granos espiga}^{-1}$). El peso del grano, por su parte, es función de la duración del período de llenado y de la tasa de llenado (g día^{-1}) (Cárcova y otros, 2003). Tanto el número de granos ha^{-1} como el peso medio de los mismos son variables que responden a los cambios en las condiciones ambientales y fisiológicas del maíz.

En la mayoría de los estudios conducidos con híbridos comerciales de maíz, se ha comprobado que las variaciones observadas en el rendimiento están más relacionadas con el número de granos que con el peso de los mismos. Según Fischer y Palmer (1984), y Cirilo y Andrade (1994) el número de granos m^{-2} es el componente que mayor asociación tiene con el rendimiento final, variando más que el peso del grano en respuesta a las fluctuaciones ambientales. De los aspectos determinantes del número de granos, sin embargo, la generación de estructuras capaces de dar origen a un grano no sería un factor determinante del número final que alcanza a la madurez. Para lograr aumentos del rendimiento es más importante aumentar la supervivencia de dichas estructuras que el número potencial de granos (Cirilo y Andrade, 1994).

A través de diferentes aproximaciones se determinó que el número de granos queda establecido en un período de aproximadamente 30 días centrados en la floración, motivo por el cual se definió a esta etapa como período crítico (Cárcova y otros, 2010). La incidencia de un estrés hídrico o lumínico provoca mayores mermas en número de granos cuando tiene lugar en este período, que coincide con el crecimiento activo de la espiga, la emergencia de estigmas y el inicio del llenado del grano. Durante el período crítico, la tasa de crecimiento por planta refleja la condición fisiológica de las plantas y, por lo tanto, su capacidad para fijar granos (Andrade y otros, 1993). La tasa de crecimiento por planta depende de numerosos factores, como la densidad de siembra, la temperatura, los niveles de radiación, la disponibilidad de agua y nutrientes y el genotipo (Andrade y otros, 2002). Sin embargo, otros factores además de la disponibilidad de asimilados pueden afectar la fijación de granos en maíz. La polinización sincronizada entre espigas y dentro de la espiga apical puede aumentar significativamente el número de granos obtenido (Cárcova y Otegui, 2001).

El peso del grano se genera durante una sucesión de dos fases a partir de la fecundación del óvulo. La primera fase de llenado del grano, comúnmente denominada fase “lag” corresponde a un período formativo, de lenta acumulación de biomasa en el grano, durante el cual se establece el número de células endospermatas y comienzan a formarse los posibles lugares para la deposición del almidón. En maíz el peso del grano se encuentra altamente relacionado tanto con el número de células endospermatas como con la cantidad de gránulos de almidón formados (Capitani y otros, 1983). Temperaturas muy elevadas durante la fase “lag” pueden crear reducciones en el peso potencial del grano, medido como un menor número de células endospermatas por grano y determinan un

peso final menor. En la segunda fase denominada “llenado efectivo”, ocurre más del 80% del incremento de peso y se depositan los principales componentes del grano. Diferencias en el peso final del grano pueden ser explicadas mediante variaciones en la duración de llenado efectivo, o modificaciones en la tasa de acumulación de materia seca durante esta etapa. Los genotipos de alto peso de grano presentan altas tasas de llenado durante la fase de llenado efectivo y alto número de gránulos de almidón formados (Reddy y Daynard, 1983). Aunque en términos generales el peso del grano es considerado el componente del rendimiento más estable, existe una relación negativa entre el número de granos por planta y el peso medio de los granos a madurez fisiológica. En diversos estudios se pudo observar que el peso de los granos disminuía a medida que aumentaba el número de granos por planta (Borras y Otegui, 2001).

La elección de un híbrido de maíz no debe vincularse únicamente con su potencial de rendimiento, sino también con su interacción con el ambiente, la estabilidad y la predictibilidad. La oferta de híbridos comerciales ha crecido considerablemente e incluye gran diversidad de ciclos y atributos específicos tales como tolerancia a lepidópteros, herbicidas y enfermedades. La longitud del ciclo merece especial consideración. En general la productividad aumenta en la medida en que el híbrido puede aprovechar al máximo la estación de crecimiento; particularmente en zonas donde la estación de crecimiento presenta mayor longitud. Así los mejores rendimientos se obtendrán en ambientes benignos con cultivos de maíz de ciclo completo. En muchos casos, el acortamiento del ciclo tiende a reducir el rendimiento alcanzable en ambientes muy favorables.

Otro punto muy importante a destacar es la elección de la fecha de siembra. En toda la región maicera argentina, los niveles de radiación solar, los registros térmicos y la longitud del día varían marcadamente a lo largo del año. La elección de la fecha de siembra determina cambios sustanciales en el ambiente que explorará cada cultivo, lo cual repercute en la duración del ciclo de los mismos y en la capacidad de capturar radiación solar, determinando consecuentemente la producción de biomasa total y el rendimiento en grano (Andrade, Otegui y Vega, 2000; Andrade, Uhart y Cirilo, 1993). Cuando la siembra se retrasa, las mayores temperaturas que experimenta el cultivo durante sus etapas iniciales de crecimiento provocan la aceleración de su desarrollo fenológico, acortándose el período entre la siembra y la floración. El retraso de la siembra de maíz también expone a la planta a fotoperíodos más largos durante su etapa fotosensible (de 4 a 8 días previos a la inducción de su ápice). Si bien los días largos demoran la inducción del ápice, la iniciación de la panoja se anticipa en siembras tardías debido al efecto térmico prevaleciente que acelera el desarrollo. También, las mayores temperaturas aceleran la velocidad de aparición de hojas. Este aumento en la velocidad de emergencia y despliegue de las hojas determina el rápido establecimiento de un conopeo eficiente en capturar la luz solar. Este efecto, sumado a los niveles crecientes de radiación solar incidentes hacia el verano, le permite a las siembras tardías acumular una cantidad de radiación interceptada hasta la floración semejante a la de siembras tempranas, a pesar del menor número de días transcurridos. Por otro lado un retraso en la fecha de siembra resulta en menores niveles de radiación incidente durante la etapa posterior a la floración y por lo tanto los maíces tardíos fijan menos granos durante la floración, además de que los granos son más livianos ya que el llenado ocurre en momentos de

radiación solar y temperatura desfavorables para la producción fotosintética en la planta, limitando la fuente de fotoasimilados.

La determinación de la estructura de siembra (densidad, distancia entre hileras y uniformidad) puede afectar significativamente la capacidad del cultivo para capturar y utilizar recursos; es, por lo tanto, una variable que tiene gran incidencia sobre el rendimiento final (Satorre, 2008). En los últimos 15 años, la estructura del cultivo de maíz ha experimentado una transformación considerable (Satorre, 2005). En la región pampeana, la densidad de siembra aumentó entre un 30 y un 67% y llevó las densidades buscadas a valores de entre 70.000 y 80.000 pl ha⁻¹ en las principales zonas productivas. Cambios en el componente ecológico (por ejemplo, incremento de las precipitaciones estacionales) y tecnológicos (por ejemplo, difusión de la siembra directa y mayor uso de fertilizantes), junto con el aumento de la tolerancia de los híbridos modernos ante cambios en la densidad (Andrade y Abbate, 2005) habrían contribuido al ajuste en la estructura de los cultivos.

La densidad de plantas es producto del número de semillas sembradas y la proporción de ellas que logra establecerse. El manejo de la densidad de plantas es una de las herramientas más eficientes para lograr canopeos que intercepten el máximo de radiación incidente y produzcan altas tasas de crecimiento, especialmente durante el período crítico (Andrade y Sadras, 2000). El cultivo de maíz presenta poca plasticidad foliar y reproductiva (Gardner et al., 1985), y no posee gran capacidad de compensar un bajo número de plantas, por ello la densidad de plantas es más crítica en el cultivo de maíz que trigo, soja y girasol (Andrade y Sadras, 2000). Por otro lado, cuando los recursos por planta disminuyen, en densidades supra óptimas se dan drásticas caídas en el número de granos m⁻², debido a que la espiga es un destino axilar y, por lo tanto, de prioridad secundaria en la planta (Tollenaar, 1977).

El análisis de la compleja interacción entre el híbrido, el ambiente, y la densidad ha llevado a explorar el comportamiento del cultivo con poblaciones de entre 40.000 y 90.000 pl ha⁻¹. Cuando se analiza el efecto de la densidad en el promedio de ambientes e híbridos modernos de maíz, es frecuente que los cambios en la densidad expliquen diferencias medias de rendimiento relativamente bajas, de 600-800 kg ha⁻¹ (Proyecto CREA-UEDAP).

Las variaciones observadas en el número de granos m⁻² responden a diferencias en el crecimiento del cultivo durante el período crítico de floración, y están bien representadas por la tasa de crecimiento alcanzada durante este período. En el período crítico bajas tasas de crecimiento del cultivo obedecen a condiciones de estrés biótico y abiótico, pero también a bajas densidades de siembra, que no permiten alcanzar una buena cobertura de suelo. Consecuentemente, parte de la radiación solar no es aprovechada para producir biomasa. Altas tasas de crecimiento se asocian con cultivos no afectados por condiciones de estrés, que logran alcanzar la máxima captura de luz al inicio del período crítico, con adecuada o alta densidad de plantas.

Por todo lo dicho, la elección del híbrido, de la fecha de siembra, y de la densidad de siembra juega un papel fundamental en el paquete tecnológico cuando se decide sembrar maíz en un determinado ambiente productivo. No hay una tecnología desarrollada para cada uno de los ambientes, sin embargo mediante el sistema de agricultura por ambientes y a través de los años se buscará generar

información relevante para los ambientes considerados, que permita establecer asociaciones entre ellos, con el propósito de poder generar y aplicar determinado paquete tecnológico en ambientes de características similares.

La importancia de realizar este ensayo radica en que es necesario el desarrollo y adaptación de tecnología específica para los ambientes loma y bajo del oeste arenoso que permitan acortar la brecha entre el rendimiento potencial del cultivo de maíz y el rendimiento real alcanzado y un uso más eficiente de los insumos en la ecuación de resultado del cultivo.

Objetivos

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Determinar el efecto del ambiente sobre el rendimiento de maíz y sus componentes.
- Determinar el efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de maíz y sus componentes.
- Determinar el efecto del híbrido sobre el rendimiento de maíz y sus componentes
- Evaluar el efecto de las interacciones generadas entre los factores estudiados sobre el rendimiento y sus componentes.

Materiales y Métodos

Para determinar el efecto del ambiente, la densidad de siembra el híbrido y sus interacciones sobre el rendimiento de maíz y sus componentes se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques completos aleatorizados con tres factores y tres repeticiones. Los tres factores evaluados fueron: ambiente con dos niveles (loma y bajo), densidad de siembra con cuatro niveles (4,5; 6; 7,5; 9 pl m⁻²), e híbrido con tres niveles (DK699 MGRR2, DK747 MGRR2 y DK670 MGRR2). El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento “Los Cuatro” ubicado en 30 de Agosto, Provincia de Buenos Aires.

Los ambientes se delimitaron en base a análisis de suelo. Se midió profundidad de napa y agua útil en cada ambiente, para lo que se utilizó un barreno helicoidal de 3 m y se tomaron 20 muestras cada 50 cm de distancia. Además, se realizaron 15 piques por ambiente a 0-20; 20-40; 40-60 cm para determinar pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, nitratos y textura (Tabla A1). Los resultados se compararon con una Matriz Ambiental (Tabla A2) utilizada para diferenciar los ambientes. Ésta Matriz surge de unificar mediante una nomenclatura tanto los factores permanentes: relieve, impedimentos físicos, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y carbonatos, así como los no permanentes: profundidad de napa, humedad del perfil, y cobertura. De esta manera se estandarizan los parámetros y se establecen los mismos límites para los resultados de análisis de suelos en toda la red de ensayos de agricultura por ambientes.

El maíz se sembró el día 30 de noviembre de 2010 con una sembradora Agrometal TX, placa 10 surcos a 70 cm de distancia entre surcos y 100 kg de fosfato monoamónico ha⁻¹ atravesando tanto la loma como el bajo. Dentro de cada ambiente, en cada bloque se asignaron al azar las densidades de siembra y dentro de cada densidad el orden de los híbridos. La asignación de tratamientos resultó en un total de 12 combinaciones de tratamientos por bloque y 36 por ambiente (Figura 1). En V4-V6 se aplicó 1,5 l de Roundup full (glifosato) y 200 kg de urea por hectárea.

Precosecha, se determinó el número de plantas m⁻¹ y el número de espigas pl⁻¹ sobre 7 m lineales de los surcos centrales de cada parcela. Las espigas correspondientes a esos 7 m se cosecharon manualmente y se pesaron a humedad de cosecha. Se tomó una sub-muestra de 10 espigas por parcela y se secaron en estufa a 65 ° C con aire forzado hasta peso constante para determinar el porcentaje de materia seca. Posteriormente, se tomó una sub-muestra de cinco espigas de las 10, se pesaron, se determinó el número de hileras espiga⁻¹, granos hilera⁻¹, promedio de tres hileras de cada espiga, y se calculó el número de granos espiga⁻¹ multiplicando las dos determinaciones anteriores. Se desgranaron las cinco espigas y se pesaron todos los granos para obtener la relación entre grano seco por marlo seco. Por último para obtener el peso de mil granos (kg mil granos⁻¹) se pesó una muestra de 500 granos.

El rendimiento (kg de grano seco ha⁻¹) se calculó multiplicando el peso húmedo con marlo de 7 m por el porcentaje de materia seca y la relación de kg de grano seco por marlo seco. Se llevó a hectárea asumiendo 14285,7 m ha⁻¹.

El análisis estadístico se realizó con Infostat versión Estudiantil 2011 (www.infostat.com.ar). Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se

comprobaron en Infostat. Para todas la variables evaluadas se realizó la prueba de normalidad mediante gráficos Q-Q plot (Figura A1) y analíticamente con la prueba de Shapiro-Wilks (Tabla A3). La homocedasticidad se confirmó con gráficos de dispersión de residuos (Figura A2). Los efectos de los diferentes factores y sus interacciones se evaluaron mediante ANOVA (Tablas A4 - A11). La separación de medias se realizó mediante el Test de LSD Fisher (Tablas A4 - A11).

D e n s i d a d		Loma	Bajo	Repetición 1
	D3	H1		
		H2		
		H3		
	D4	H3		
		H2		
		H1		
	D1	H1		
		H2		
		H3		
	D2	H3		
		H2		
H1				

D e n s i d a d		Loma	Bajo	Repetición 2
	D4	H3		
		H1		
		H2		
	D1	H2		
		H1		
		H3		
	D3	H3		
		H1		
		H2		
	D2	H2		
		H1		
H3				

D e n s i d a d		Loma	Bajo	Repetición 3
	D2	H1		
		H3		
		H2		
	D4	H2		
		H3		
		H1		
	D3	H1		
		H3		
		H2		
	D1	H2		
		H3		
H1				

Figura 1. Esquema del ensayo. D= densidad, H= híbrido. D1: 4,5 pl m⁻²; D2: 6 pl m⁻²; D3: 7,5 pl m⁻²; D4: 9 pl m⁻². H1: DK747; H2: DK699 H3: DK670.

Resultados

El rendimiento del cultivo y sus componentes fueron afectados por los factores estudiados de distinta manera (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de los distintos factores y su interacción sobre cada una de las variables evaluadas.

	Rinde	Plantas ha ⁻¹	espigas pl ⁻¹	hileras espiga ⁻¹	granos hilera ⁻¹	granos espiga ⁻¹	Peso de mil	Granos m ⁻²
densidad (D)	NS	S	S	NS	S	NS	NS	NS
híbrido (H)	NS	NS	S	S	NS	S	S	NS
H x D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS
ambiente (A)	S	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS
A x H	NS	NS	NS	NS	S	S	S	NS
A x D	NS	NS	NS	NS	S	S	NS	NS
A x H x D	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

S=significativo (*p*-valor: 0,05)

NS=no significativo.

Rendimiento

El rendimiento del cultivo medido en kg ha⁻¹ fue afectado por el ambiente. El bajo tuvo un mayor rendimiento que la loma, independientemente de las densidades e híbridos, siendo los rendimientos registrados 9203 y 7926 kg ha⁻¹ para el bajo y la loma, respectivamente (Figura 2).

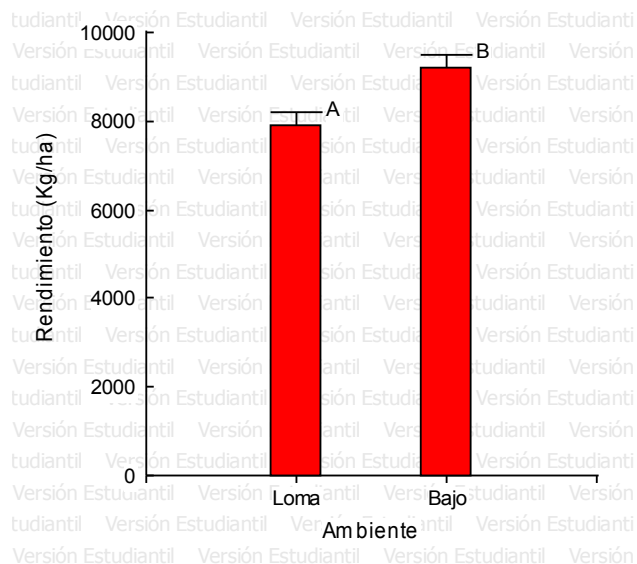


Figura 2. Efecto del ambiente sobre el rendimiento. Letras distintas indican diferencias significativas (*p*-valor: 0.05).

Plantas ha⁻¹

El número de plantas ha^{-1} solo fue afectado por la densidad de siembra. La mayor cantidad de plantas ha^{-1} fue para la densidad de 9 pl m^{-2} . Las densidades intermedias de 6 y $7,5 \text{ pl m}^{-2}$ no mostraron diferencias y por último la menor cantidad de plantas fue para la densidad más baja de $4,5 \text{ pl m}^{-2}$ (Figura 3).

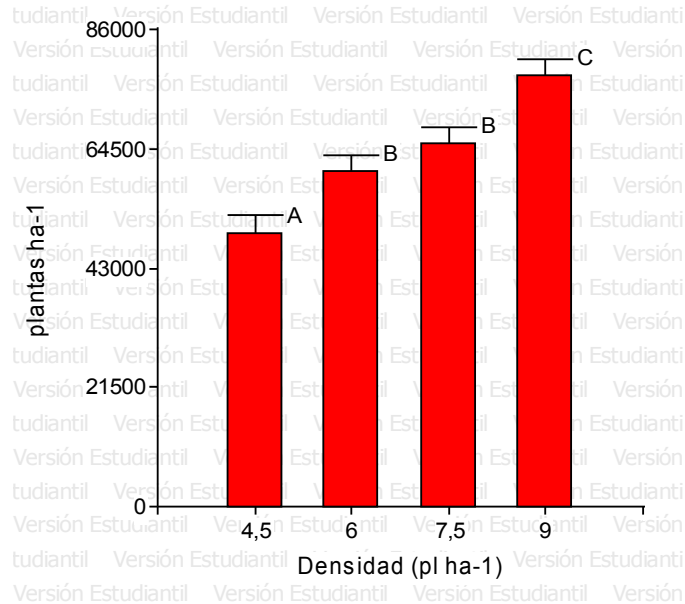


Figura 3. Efecto de la densidad de siembre sobre pl ha^{-1} . Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor: 0.05).

Espigas planta⁻¹

Hubo un efecto de densidad de siembra e híbrido sobre el número de espigas pl^{-1} . El mayor número de espigas pl^{-1} fue para $4,5 \text{ pl m}^{-2}$, mientras que el menor número se registró para 9 pl m^{-2} y $7,5 \text{ pl m}^{-2}$ no habiendo diferencias entre estas densidades (Figura 4).

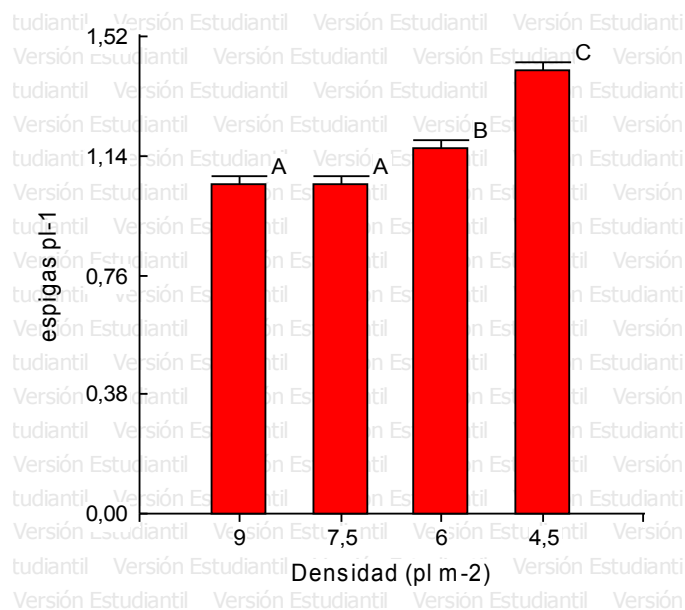


Figura 4. Efecto de la densidad sobre el número de espigas pl^{-1} . Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor: 0.05).

Los híbridos presentaron diferencias significativas en el número de espigas pl^{-1} entre los tres, siendo el número de espigas pl^{-1} mayor para DK747 (1,3 espigas pl^{-1}) intermedio para DK670 (1,17 espigas pl^{-1}) y menor para DK699 (1 espiga pl^{-1}) (Figura 5).

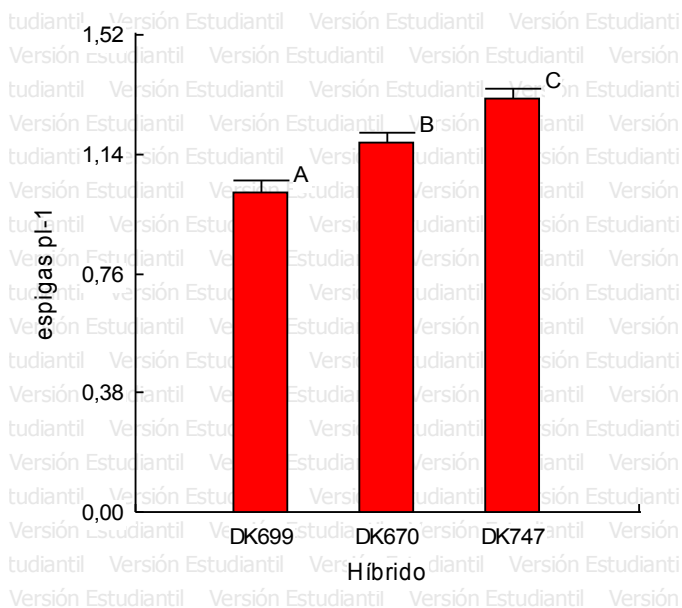


Figura 5. Efecto del híbrido sobre el número de espigas pl^{-1} . Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor: 0.05).

Hileras espiga $^{-1}$

Hubo un efecto de híbrido sobre el número de hileras espiga $^{-1}$. La cantidad de hileras por espiga fue mayor para el híbrido DK699 con un promedio de 16,07 hileras espiga $^{-1}$, intermedio para DK670 con un promedio de 14,55 hileras. espiga $^{-1}$ y menor para DK747 con 13,93 hileras. espiga $^{-1}$ (Figura 6).

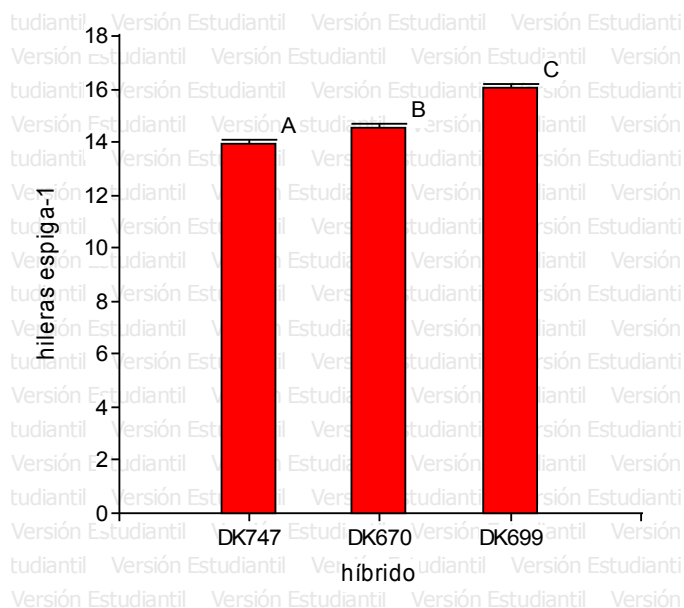


Figura 6. Efecto del híbrido sobre el número de hilera espiga⁻¹. Letras distintas indican diferencias significativas (*p*-valor: 0.05).

Granos hilera⁻¹

El número de granos hilera⁻¹ fue afectado por la interacción ambiente x híbrido y ambiente x densidad.

En la primera interacción los híbridos DK699 y DK747 en el bajo, y el DK670 en la loma mostraron los mayores números de granos hilera⁻¹, sin haber diferencias entre ellos, con promedios de 33,45; 33,71 y 33,75 granos hilera⁻¹ respectivamente. El híbrido DK699 en la loma presentó el menor número de granos por hilera (31,25 granos hilera⁻¹) (Figura 7).

La interacción ambiente x densidad resultó en el mayor número de granos por hilera para 4,5 pl m⁻², independientemente del ambiente, con 34,23 granos hilera⁻¹ para la loma y 34,5 granos hilera⁻¹ para el bajo. La densidad de 9 pl m⁻² en la loma tuvo la menor cantidad de granos por hilera con un promedio de 29,77 granos hilera⁻¹ (Figura 8).

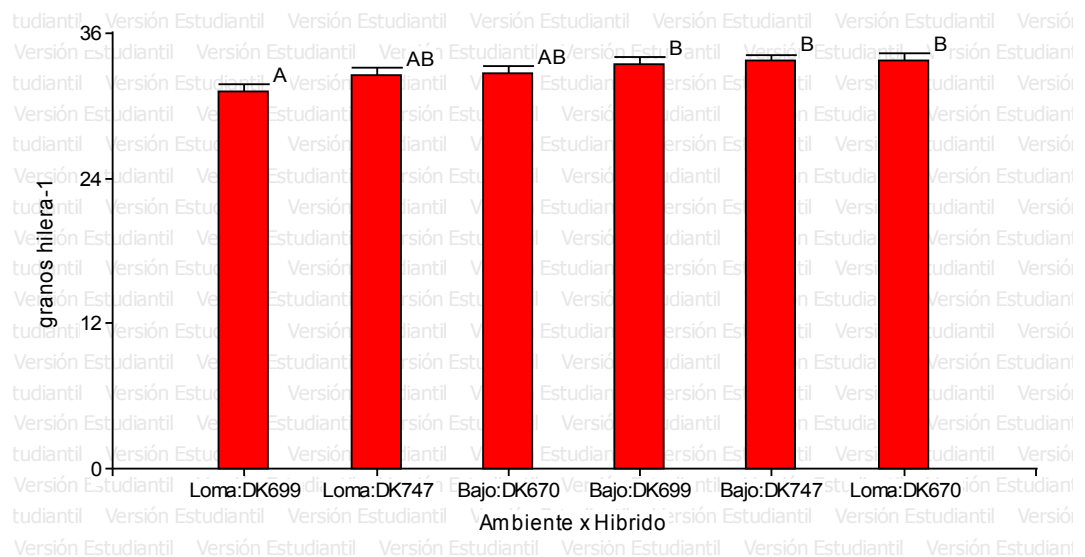


Figura 7. Efecto de ambiente x híbrido sobre granos hilera⁻¹. Letras distintas indican diferencias significativas (*p*-valor: 0.05).

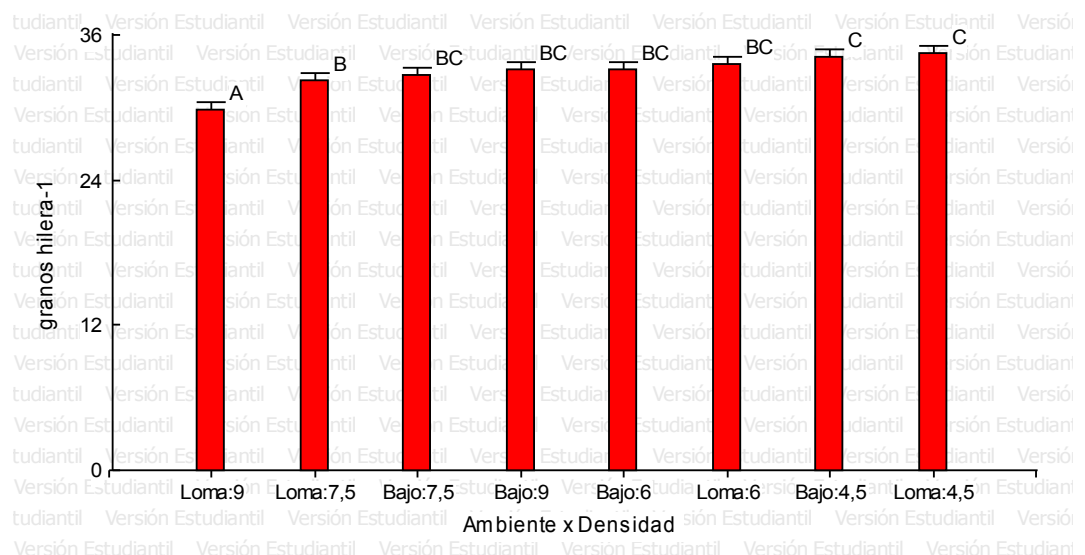


Figura 8. Efecto de ambiente x densidad sobre granos hilera⁻¹. Letras distintas indican diferencias significativas (*p*-valor: 0.05).

Granos espiga⁻¹

El número de granos espiga⁻¹ fue afectado por las mismas interacciones que la cantidad de granos por hilera, ambiente x híbrido y ambiente x densidad.

El mayor número de granos por espiga se registró para el híbrido DK699 en el bajo. El número de granos por espiga fue menor para los híbridos DK747 en los dos ambientes y para el DK670 en el bajo, con promedios de 451 468 y 469, granos espiga⁻¹, respectivamente, no habiendo diferencias entre ellos. Los híbridos DK699 y DK670 en la loma ocupan una posición intermedia (Figura 9).

Para ambiente x densidad el número de granos por espiga es mayor para 4,5 pl m⁻² en el bajo con 521 granos espiga⁻¹ y menor para la densidad de 9 pl m⁻² en la loma (439 granos espiga⁻¹) (Figura 10).

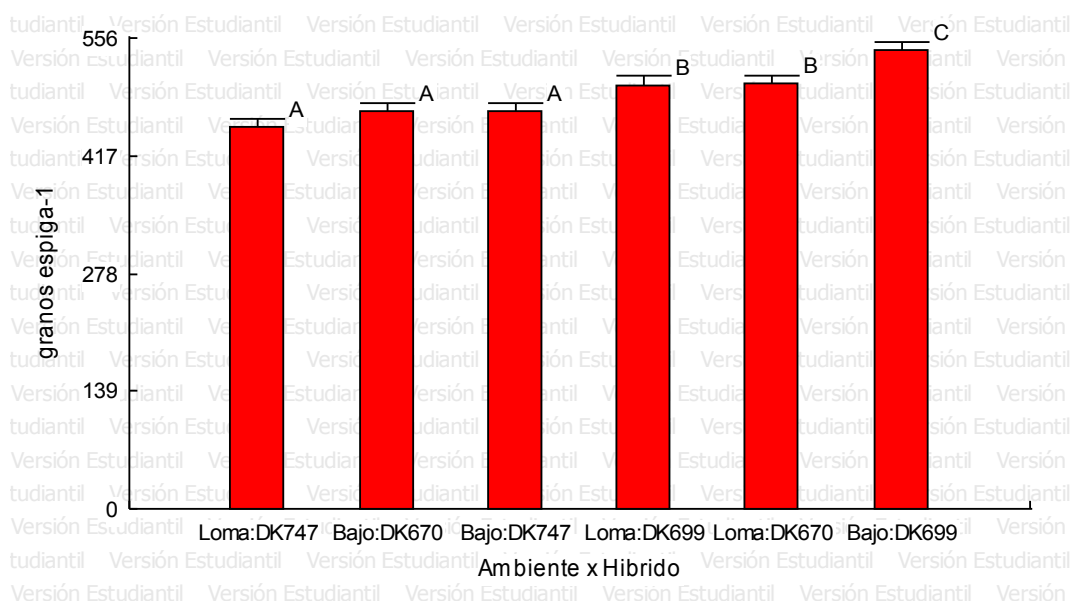


Figura 9. Efecto de ambiente x híbrido sobre granos espiga⁻¹. Letras distintas indican diferencias significativas (*p*-valor: 0.05).

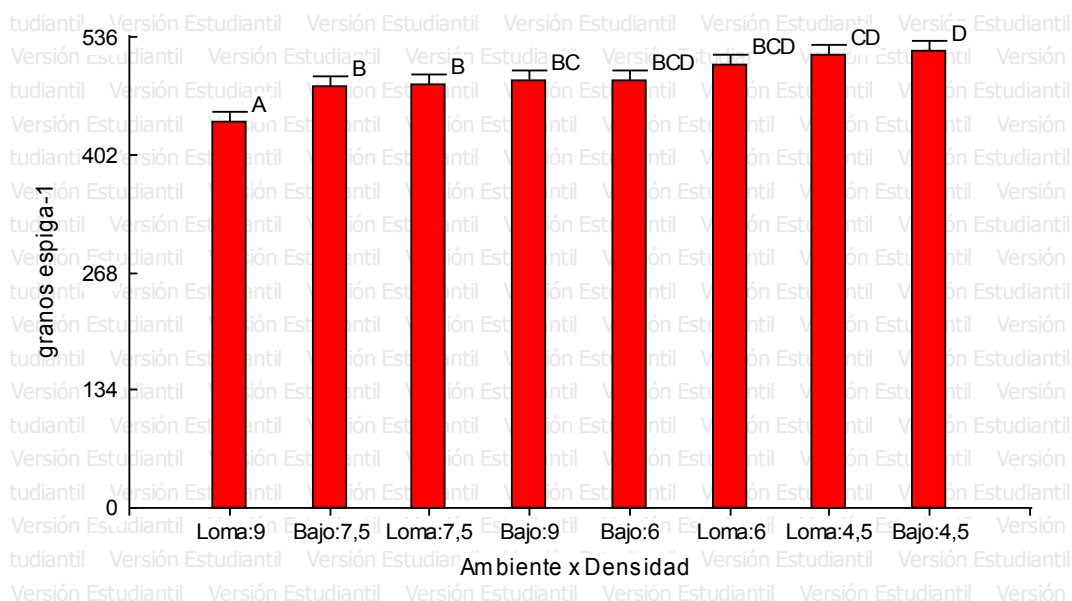


Figura 10. Efecto de ambiente x densidad sobre granos espiga⁻¹. Letras distintas indican diferencias significativas (*p*-valor: 0.05).

Peso de mil granos

Se encontró una interacción de ambiente x híbrido y una de híbrido x densidad para peso de mil granos.

El peso de mil granos fue mayor para los híbridos DK 670 y DK 699 en el bajo con 0,360 kg y 0,340 kg respectivamente. El menor peso de mil granos fue para el híbrido DK 747 en la loma con 0,270 kg (Figura 11).

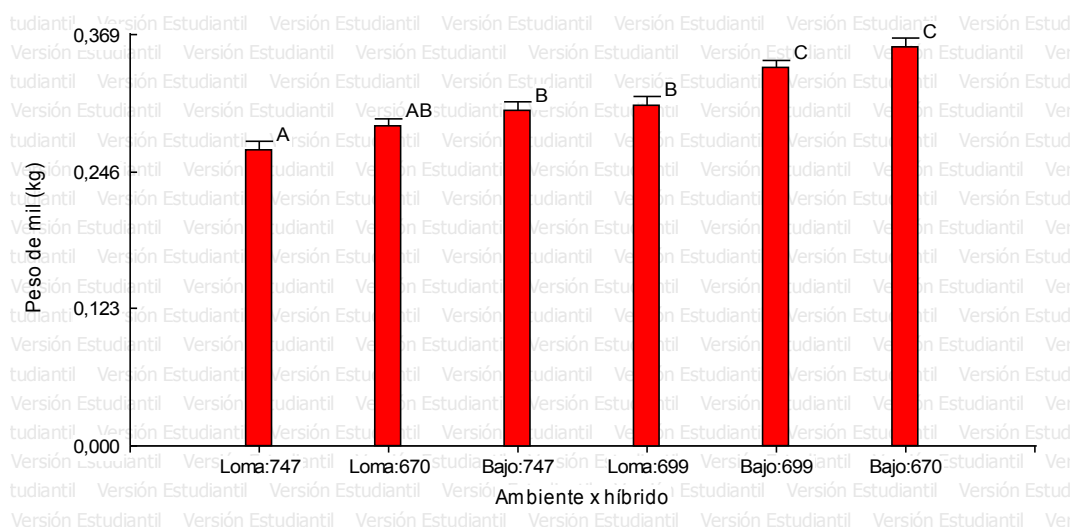


Figura 11. Efecto de ambiente x híbrido sobre el peso de mil granos. Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor: 0.05).

En la interacción híbrido x densidad el peso de mil granos fue menor para el híbrido DK747 en las densidades de 9; 6 y 7,5 pl m⁻² con 0,260; 0,270 y 0,280 kg respectivamente. El resto de los híbridos con todas las densidades e incluso el DK 747 con la densidad de 4,5 pl m⁻² no difieren entre ellos (Figura 12).

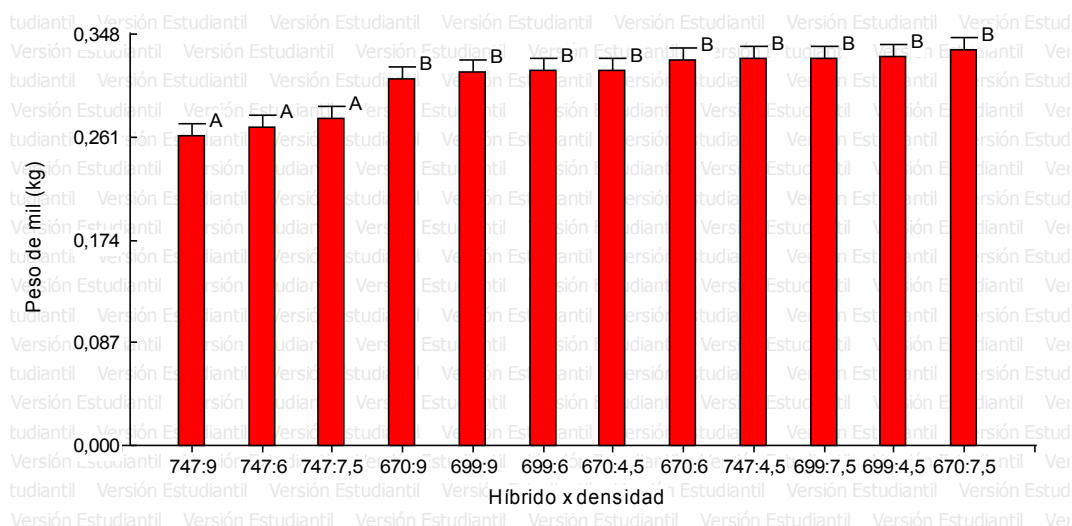


Figura 12. Efecto de híbrido x densidad sobre el peso de mil granos. Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor: 0.05).

Granos m⁻²

El número de granos m⁻² no tuvo diferencias entre los distintos tratamientos, con un promedio de 3582 y 3431 granos m⁻² para el bajo y la loma, respectivamente (Tabla A11). Se sabe que en general el número de granos por unidad de superficie

es el factor que mejor correlaciona con el rendimiento, es por esto que se esperaba un efecto de los factores que afectaron el rendimiento sobre el número de granos por unidad de superficie.

Discusión

El rendimiento del cultivo de maíz fue afectado solo por el ambiente, obteniéndose los mayores rendimientos en el bajo, pero los distintos componentes del rendimiento fueron afectados por diferentes factores y hasta incluso por interacciones. Estas diferencias reflejan la capacidad del maíz de compensar ciertos componentes del rendimiento para lograr estabilizar los rendimientos en un determinado ambiente.

Hubo un claro efecto de densidad sobre el número de espigas pl^{-1} reflejado en un mayor número de espigas pl^{-1} a menor densidad de siembra, no habiendo diferencias entre las dos densidades más altas (7,5 y 9 $pl\ m^{-2}$). Esto puede explicarse ya que existe un umbral de crecimiento por planta en floración por debajo del cual el cultivo llega a cosecha sin espigas y otro umbral de crecimiento por planta por encima del cual se logran dos espigas viables (Tollenaar, 1992). Confirmamos que aumentos en la densidad de plantas ha^{-1} reducen el número de espigas logradas, ya que habrá plantas subordinadas en su crecimiento a causa de competencia que no superen el umbral y lleguen sin espigas o con menor cantidad (Prine, 1971; Jacob y Pearson, 1991). El número de espigas pl^{-1} también se vio afectado por el híbrido y DK747 tuvo el mayor número de espigas por planta, lo que demuestra la asociación de este componente del rendimiento al germoplasma elegido.

El número de hileras espiga $^{-1}$ se invierte con respecto al número de espigas pl^{-1} viéndose una mayor cantidad de hileras espiga $^{-1}$ en el híbrido DK699, que era el que tenía menor número de espigas pl^{-1} , demostrando la capacidad de compensación de los componentes del rendimiento para resultar en el mismo rendimiento para todos los híbridos. El efecto del híbrido sobre el número de hileras espiga $^{-1}$ observado coincide con Bonhome (1984) que reportó que éste componente del rendimiento está más afectado por el genotipo que por las condiciones ambientales.

El número de granos hilera $^{-1}$ fue mayor a menores densidades en ambos ambientes. A su vez, DK 699 y DK747 en el bajo y DK670 en la loma tuvieron el mayor número de granos hilera $^{-1}$. Fisher y Palmer (1984) reportaron que el número de granos hilera $^{-1}$ es una variable muy estable que depende del genotipo y es algo sensible a las condiciones ambientales, a lo que hay que sumar que es afectada por la densidad.

El número de granos por espiga fue mayor a medida que disminuyó la densidad de plantas, sobre todo en el bajo. A su vez, este componente se vio afectado diferencialmente en el bajo y la loma para los distintos híbridos, demostrando que no todos los híbridos responden de la misma manera a cambios en el ambiente con respecto a número de granos espiga $^{-1}$.

El peso de mil granos se mostró menos afectado por el ambiente para DK699. Por otro lado, el peso de mil granos de DK747 aumentó a medida que disminuyó la densidad, demostrando que es un híbrido con más capacidad de compensar un menor número de granos con mayor peso de los mismos. Los demás híbridos (DK670 y DK699) no mostraron este comportamiento frente a distintas densidades.

A pesar que el número de granos ha^{-1} es en general el componente más fuertemente relacionado con el rendimiento (Andrade, 1996), nosotros no identificamos efectos de los factores analizados para este componente.

Conclusiones

El rendimiento del cultivo de maíz fue afectado solo por el ambiente siendo un 16,11% mayor el bajo con respecto a la loma, independientemente del híbrido y de la densidad de siembra. Los componentes del rendimiento fueron afectados por el ambiente, pero también por la densidad de siembra y el híbrido, e incluso por las interacciones entre los factores.

Cambios en la densidad de siembra han modificado los valores de los componentes del rendimiento que tienen mayor relación con el rendimiento final, como ser, el número de granos espiga⁻¹ y el peso del grano. El genotipo tuvo influencias en parámetros tales como el número de espigas pl⁻¹ e hileras espiga⁻¹. El número de granos m⁻², que es el parámetro que generalmente más correlaciona con el rendimiento, no mostró diferencias entre los distintos tratamientos. Por otro lado, se vio una tendencia de aumento del peso del grano ante menor densidad de plantas.

A raíz de este ensayo, para ese año y en una fecha de siembra tardía podemos afirmar que el factor más determinante del rendimiento, dentro de los factores evaluados, fue el ambiente. No sería necesario apuntar a altas densidades de siembra, incurriendo en costos innecesarios ya que no hubo diferencias en rendimientos dentro de las densidades evaluadas, independientemente del ambiente. A su vez, la falta de diferencias en rendimiento entre los híbridos evaluados sugiere que los híbridos disponibles en el mercado para una determinada zona se comportarían igual en distintos ambientes de bajo o loma. El efecto de los factores evaluados sobre los distintos componentes del rendimiento demuestran que ante un eventual estrés, ya sea biótico o abiótico, la tecnología implementada puede resultar en diferencias en rendimiento dependiendo del ambiente, híbrido o densidad que se utilice si las variaciones en componentes que se definen temprano en el ciclo no pueden ser compensadas más tarde durante el ciclo del cultivo.

Es muy importante conocer los ambientes en los que vamos a trabajar a fin de aplicar tecnología de manera eficiente y económicamente rentable. La red de ensayos de agricultura por ambientes debería continuarse a lo largo de los años para poder comparar las respuestas del rendimiento y sus componentes frente a distintos factores, con las diferencias climáticas que eso implica, a fin de que los datos obtenidos puedan servir para predecir cambios en las respuestas frente a distintos escenarios.

Bibliografía

- ANDRADE, F. El establecimiento del cultivo, Bases funcionales de la producción del cultivo de maíz. Su aporte en la agricultura sostenible. En: Monsanto Argentina S.A (ed.), Guía DeKalb del cultivo de maíz. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2002, pág19.
- ANDRADE, F. y ABBATE, P. (2005). Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. *Agron. J.* 97: 1263-1269.
- ANDRADE, F.H.; CIRILO, A.G.; UHART, S.A y OTEGUI, M.E. Ecofisiología del cultivo de Maíz. Buenos Aires, Ed. "La Barrosa", 1ª edición, 1996. Pág. 2, 47, 292
- ANDRADE, F.; ECHARTE, L.; RIZZALLI, R.; MAGGIORA A. y CASANOVAS, M. (2002). Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42: 1173-1179.
- ANDRADE, F.; OTEGUI M.E. Y VEGA C. (2000). Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agron. J.* 92:92-97.
- ANDRADE, F.; y SADRAS, V. *Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja.* Ed. Médica Panamericana S.A ISBN, Buenos Aires, 2000, Pág: 443
- ANDRADE, F.; UHART, S. y CIRILO, A. (1993). Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Res.* 32:17-25.
- BORRÁS, L.; y OTEGUI M.E. (2001). Maize kernel weight response to post-flowering source: sink ratio. *Crop Science* 41: 1816-1823.
- CAMPOS M. Modelos zonales de producción de maíz en el movimiento CREA. En: Suarez, M. Moreno, M. (eds.) *Producción de Maíz.* Ciudad Autónoma de Buenos Aires, AACREA, 2008. Págs. 41-42.
- CANTARERO, M.G.; LUQUE, S.F y RUBIOLO, O (2000). Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina), *Agriscientia*, 2000. XVII: 3-10.
- CAPITANO, R.; GENTINETTA E. y MOTTO M. (1983). Grain Weight and its components in maize inbred lines. *Maydica* 28: 365-379.
- CARCOVA, J.; BORRAS, L.; y OTEGUI, M.E. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. En: Pascale J.A

(ed.) Producción de granos Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, editorial Facultad de Agronomía, primera edición, 2003, pág. 146.

CARCOVA, J.; y OTEGUI, M. (2001). Pollination asynchrony and kernel abortion in maize. *Crop Science* 41: 1809-1815.

CIRILO, A.G.; y ANDRADE, F.H (1994). Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination. *Crop Science*. 34: 1044-1046.

DE LA VEGA J.; DE LA FUENTE E. Elección de genotipos. En: Pascale J. (ed.). Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Editorial Facultad de Agronomía, 2010. págs. 319-349

FISCHER, K.S y PALMER, F.E. Tropical maize. En: *The physiology of tropical field crops*. Ed. By P.R Goldsworthy physiology of tropical field crops. Ed. By P.R Goldsworthy and N.M. Fisher, 1984, Pág 332.

GARDNER, B.R.; PEARCE R.B y MITCHEL, R (1985). Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. Pág 327.

GIFFORD, R.M.; THORNE, J; HITZ, W y GIAQUINTA, R (1984). Crop productivity and photo assimilate partitioning. *Science*, 225:801-808.

JACOBS, B. y PEARSON, C. (1991). Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears. *Field Crops Research*, 27: 761-298.

LUCHSINGER, A.; y CAMILO, F. (2008), Rendimiento de maíz dulce y contenido de sólidos solubles, *IDESIA*, 3 (26): 21-29.

MARTINEZ, M.; CHAVES, H.; MARGIOTTA, A.; ALARCON, A. y MARTINEZ, S.R. (2004), Producción de maíz en el valle inferior del río negro: efecto de la distribución de semillas, la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada, *Revista Pilquen*, N°6, (IV):1-7.

MELCHIORI, R.; ALBARENQUE, S. y KEMERER A. (2010), Respuesta del cultivo de maíz a cambios en la densidad de siembra y fertilización nitrogenada por ambientes, *Actualización Técnica N°2 Maíz, Girasol y Sorgo* 101 (2):19-24.

MIRALLES J.; AGUIRREZABAL L.; OTEGUI M.; KRUK B.; IZQUIERDO N. *Avances en ecofisiología de cultivos de granos*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Buenos Aires, Editorial Facultad de Agronomía, 2010, Pág. 257.

OTEGUI M.; LOPEZ PEREIRA M. Fecha de siembra. En: Pascale J. (ed.). *Producción de granos, bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires, Editorial facultad de Agronomía, 2010 págs. 259-275.

PRINE, G.(1971). A critical period for ear development in maize. *Crop Science*, 11: 782-786.

REDDY, V.; y HANWAY, J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State Univ. Special Report 48.

SATORRE, E. (2005). Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* 87: 24-31.

SATORRE, E.H. Elección del híbrido. En: Suarez, M. Moreno, M. (eds.) *Producción de Maíz*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, AACREA, (2008). Págs. 41-42.

SATORRE E. 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, 2003, pág. 37-38.

SATORRE E.; BENECH ARNOLD R.; SLAFER G.; DE LA FUENTE E.; MIRALLES J.; OTEGUI E.; Y SAVIN R. *Producción de granos, bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires, Editorial Facultad de Agronomía, 4ª Reimpresión, 2010, págs. 3,320 y 321.

TOLLENAAR, M. (1977). Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. *Maydica* 22:49-75.

TOLLENAAR, M.; DWYER, M.; STEWART, W. (1992). Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Science*, 32: 432-438.

www.fenalace.org, El cultivo de maíz, historia e importancia. Noviembre 2012.

[www.made-in-argentina.com/alimentos/granosyoleaginosas/temas_relacionados/producción de maíz en argentina.htm](http://www.made-in-argentina.com/alimentos/granosyoleaginosas/temas_relacionados/producción_de_maíz_en_argentina.htm). Noviembre 2012.

Anexos

Anexo 1: Análisis de Suelos

Tabla A1. Resultados de análisis de suelos.

Establecimiento	Lote	Profundidad Cm	pH	C.E Mmhos/cm	M.O	P ppm	NO3 ppm	Textura		
								Porcentaje		
Los Cuatro	8 loma	0-20	6,3	0,2	1,67	10,9	23	ARE.	LIM.	AR.
Los Cuatro	8 loma	20-40					16	80,5	15,5	4,0
Los Cuatro	8 loma	40-60					9			
Los Cuatro	8 bajo	0-20	6,3	0,2	2,76	8,0	99	53,5	30,0	16,5
Los Cuatro	8 bajo	20-40					60			
Los Cuatro	8 bajo	40-60					40			

Anexo 2: Matriz Ambiental

Tabla A2. Matriz Ambiental utilizada para determinar los ambientes del ensayo.

Matriz Ambiental						Rendimientos Logrables		
Relieve	Caract.	Factor estructural	Rango de valores	Fact. modificadores	Nomenclatura	Nomenclatura	Maiz kg ha^{-1}	
Loma		Arena	> 80 % de arena		L3	Zonas de escurrimiento de agua	L3	2.000
		Arena	70 - 80 % arena	Napa	L2		L2	5.000
		Arena	< 70 %	Napa	L1		L1	7.000
	Tosca	Tosca	Tosca < 60 cm		LTs1		LTs1	
	Tosca	Tosca	Tosca 60-120 cm		LTs2		LTs2	
Media Loma		Arena	> 80 % de arena	Napa	ML 3	Zonas de balance neutro	ML 3	5.000
		Arena	70 < 80 % arena	Napa	ML 2		ML 2	7.000
		Arena	< 70 %	Napa	ML 1		ML 1	10.000
	Tosca	Tosca	Tosca < 60 cm		ML-Ts1		ML-Ts1	
	Tosca	Tosca	Tosca 60-120 cm		ML-Ts2		ML-Ts2	
	Árgicos	Thaptos	Thaptos a < de 60 cm y sin carbonatos	Napa-Hum thapto	ML-T		ML-T	11.000
Bajo	Árgicos	Thaptos	Thaptos a < de 60 cm y sin carbonatos	Napa-Hum thapto	B-T1	Zonas que reciben agua por escorrentía	B-T1	10.000
	Carbonatos	Thaptos + carbonatos	Thaptos a < de 60 cm Presencia de carbonatos	Napa	B-T2		B-T2	5.000
	Natrico	Thaptos + pH thapto	Thaptos a < de 60 cm pH 8 o mas	Napa-Hum thapto	B-T3		B-T3	5.000
	Tosca	Tosca	Tosca < 60 cm		B-Ts1		B-Ts1	
	Tosca	Tosca	Tosca 60-120 cm		B-Ts2		B-Ts2	
	Dulce	MO	Sin thapto o > 60 cm MO > 3 %	Napa	B1		B1	12.000
	Dulce	MO	Sin thapto o > 60 cm MO < 3 %	Napa	B2		B2	11.000
	Salino-Sódico	pH y CE	pH > a 8 y/o CE > 5	Napa	B3		B3	5.000

Anexo 3: Análisis Estadístico

Normalidad – QQ plot

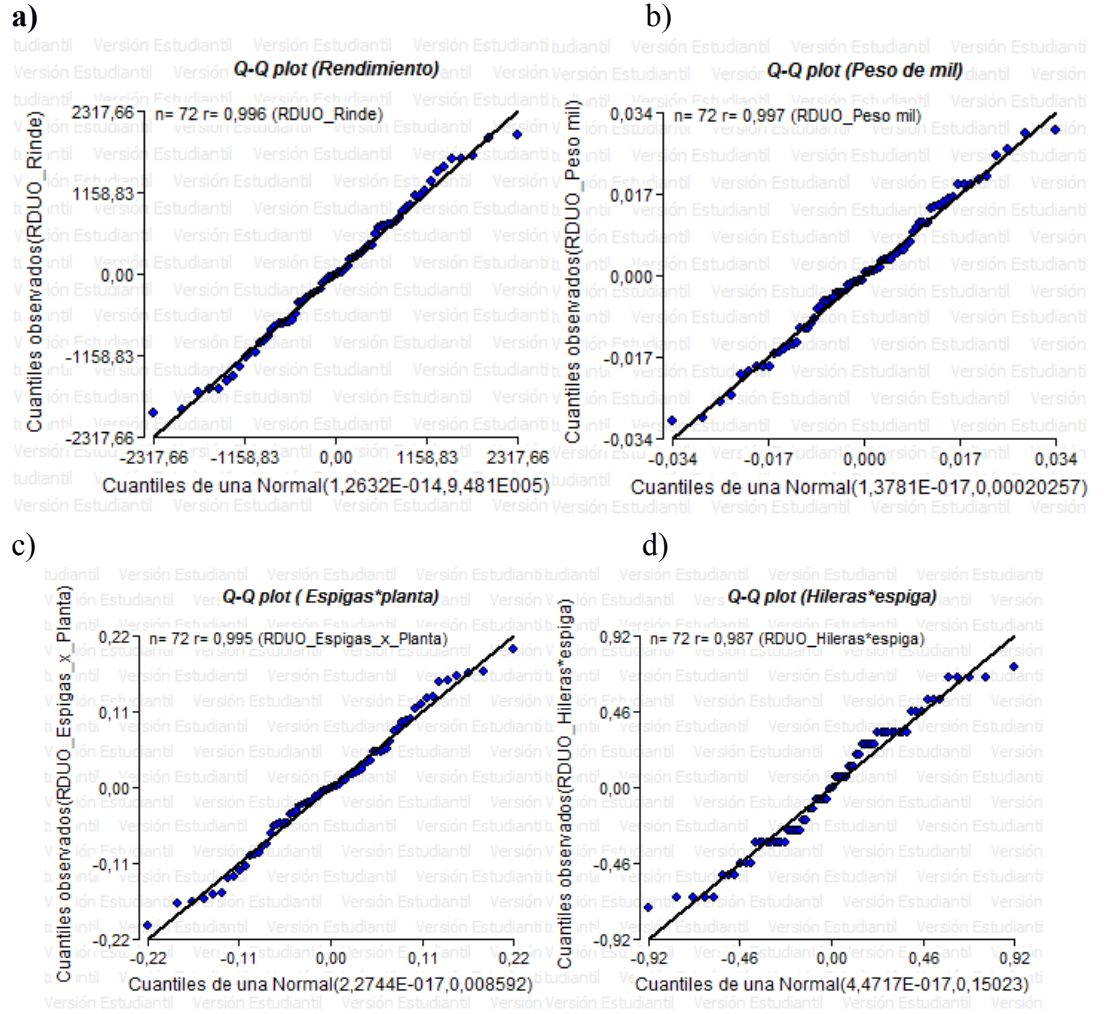


Figura A1: Gráficos de Q-Q plot para normalidad a) Rendimiento b) Peso de mil granos c) Espigas por planta d) Hileras por espiga

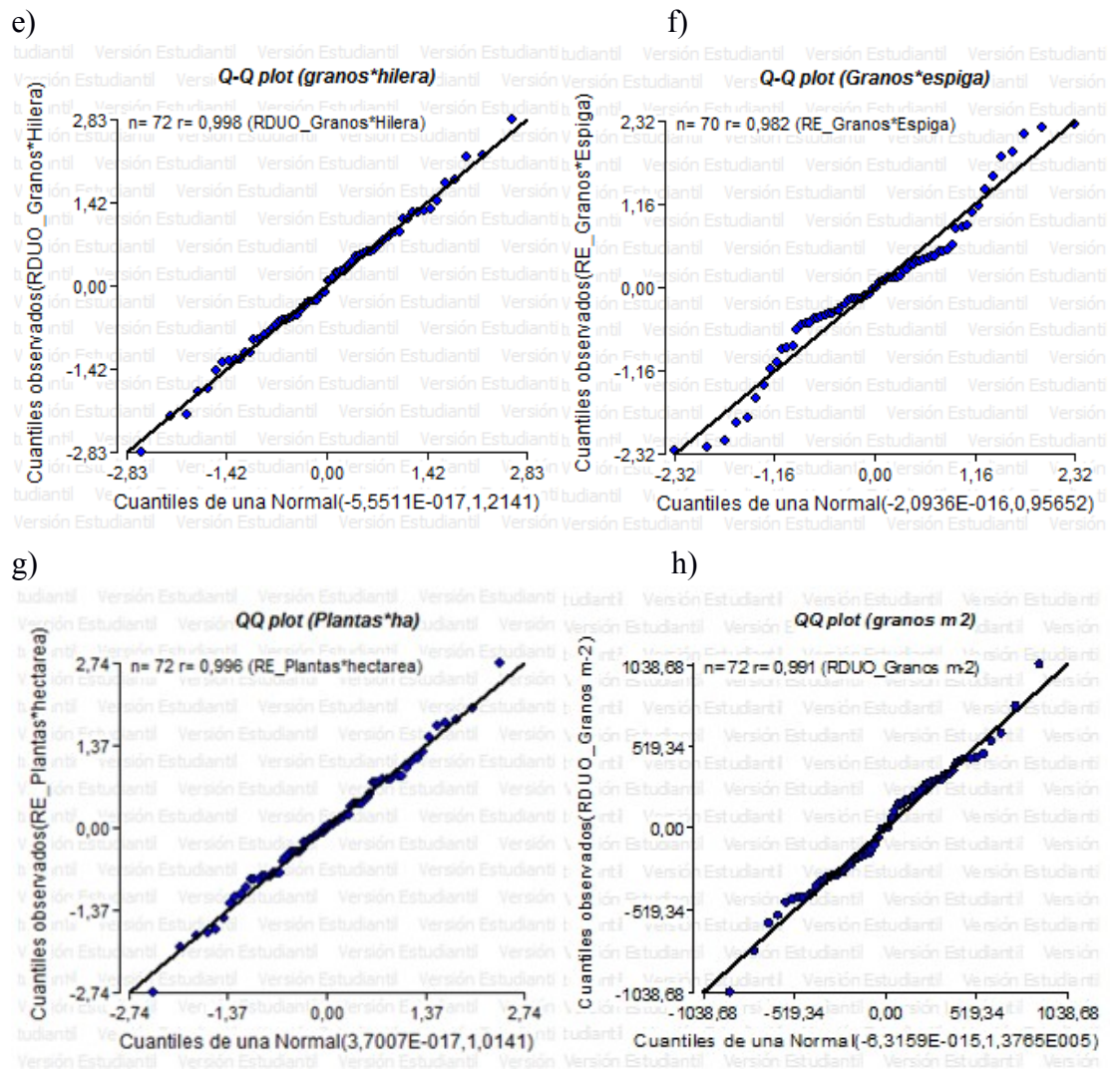


Figura A1 cont.: Gráficos de Q-Q plot para normalidad e) Granos por hilera f) Granos por espiga g) Plantas por ha. h) Granos por m²

Normalidad – Shapiro-Wilks

Tabla A3: Prueba de Shapiro-Wilks para a) Rendimiento b) Peso de mil granos c) Espigas pl^{-1} d) hileras espiga $^{-1}$ e) granos hilera $^{-1}$ f) granos espiga $^{-1}$ g) plantas ha^{-1} h) granos m^{-2}

a) Rendimiento

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Rinde	72	0,00	973,70	0,96	0,2351

b) Peso de mil granos

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Peso mil	72	0,00	0,01	0,97	0,3914

c) espigas pl^{-1}

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Espigas_x_Planta	72	0,00	0,09	0,97	0,3174

d) hileras espiga $^{-1}$

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Hileras*espiga	72	0,00	0,39	0,94	0,0119

e) granos hilera $^{-1}$

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Granos*Hilera	72	0,00	1,10	0,99	0,9810

f) granos espiga $^{-1}$

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Granos*Espiga	72	0,00	18,34	0,95	0,0300

g) plantas ha^{-1}

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RE_Plantas*hectárea	72	0,00	1,01	0,99	0,9940

h) granos m^{-2}

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO_Granos m^{-2}	72	0,00	371,01	0,99	0,9627

Homocedasticidad – Gráfico de Dispersión

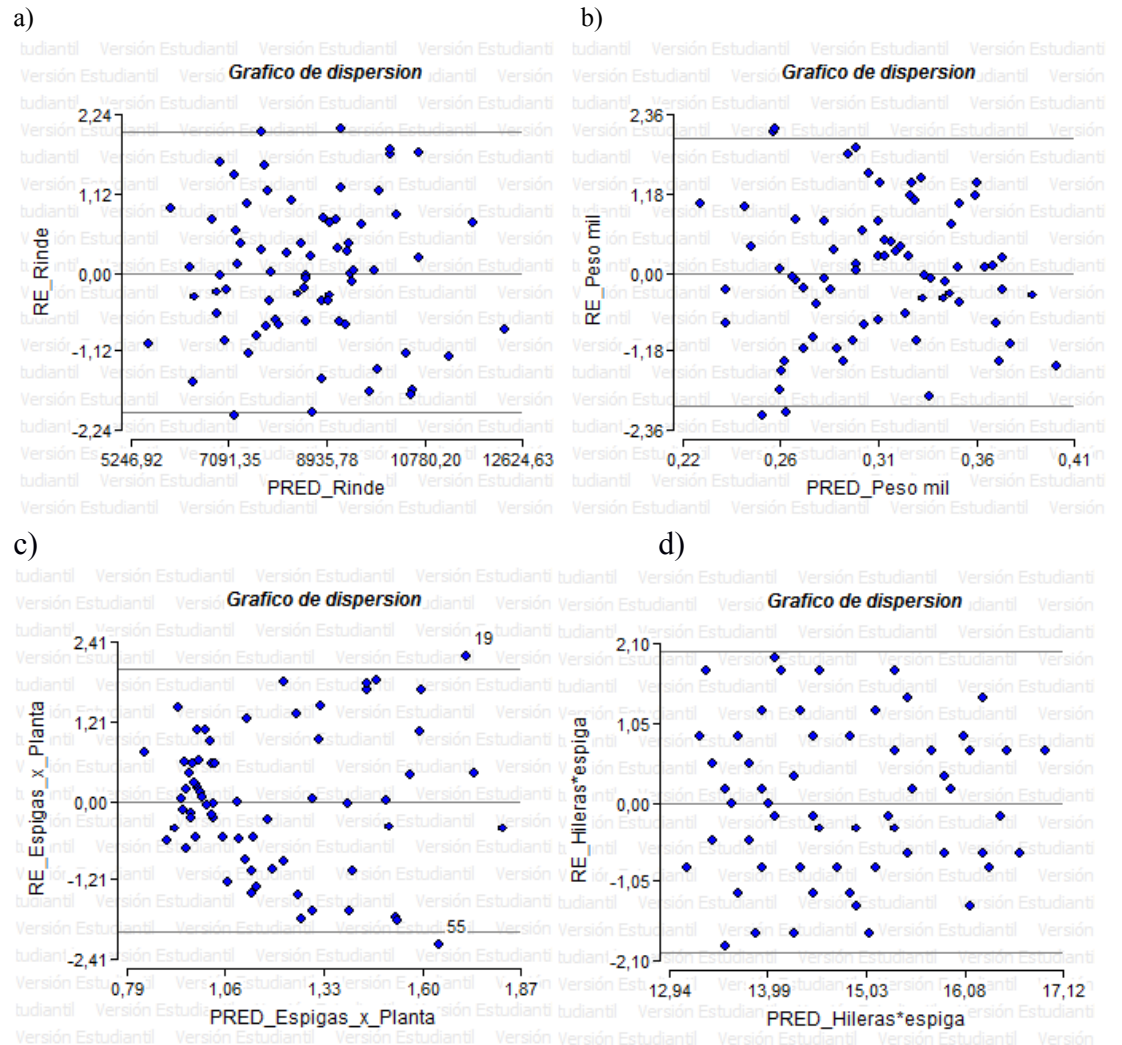


Figura A2. Gráficos de dispersión de puntos para a) rendimiento b) peso de mil granos c) espigas pt^{-1} d) hileras espiga $^{-1}$.

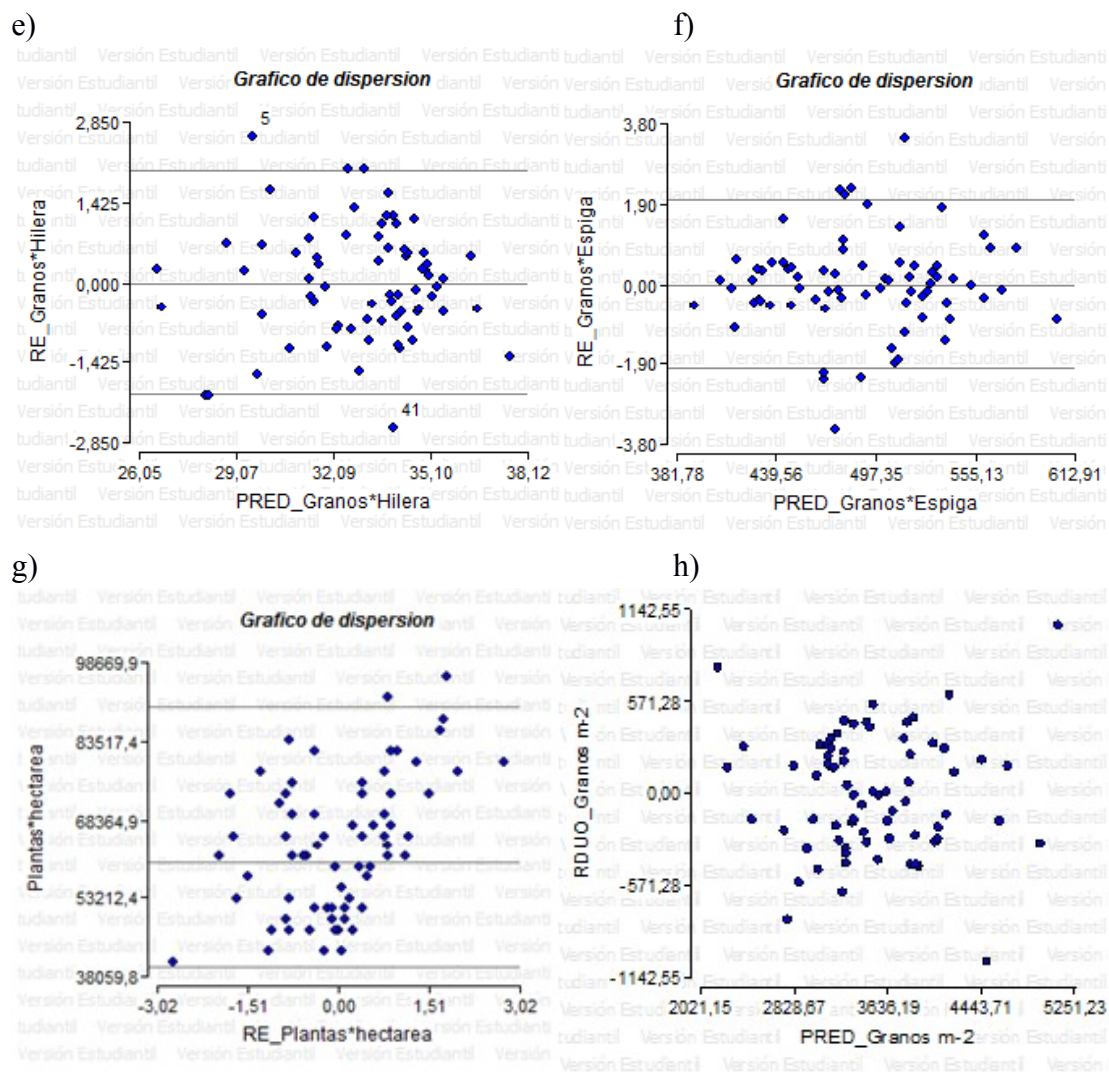


Figura A2 cont. Gráficos de dispersión de puntos para e) granos hilera⁻¹ f) granos espiga⁻¹ g) plantas ha⁻¹ h) granos m⁻²

ANOVA y Test LSD Fisher

Tabla A4. Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para rendimiento.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rinde	72	0,67	0,03	19,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	139044969,65	47	2958403,61	1,05	0,4561	
Densidad	5664226,15	3	1888075,38	0,60	0,6393	(Bloque*Densidad)
Bloque	28732042,51	2	14366021,26	4,55	0,0627	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	18943593,02	6	3157265,50	1,13	0,3774	
Hibrido	9455485,72	2	4727742,86	1,69	0,2065	
Hibrido*Densidad	6337217,23	6	1056202,87	0,38	0,8866	
Hibrido*Bloque	8013209,53	4	2003302,38	0,71	0,5904	
Hibrido*Bloque*Densidad	14303829,27	12	1191985,77	0,42	0,9378	
Ambiente	29366635,71	1	29366635,71	10,47	0,0035	
Ambiente*Hibrido	4860440,48	2	2430220,24	0,87	0,4332	
Ambiente*Densidad	101158,13	3	33719,38	0,01	0,9981	
Ambiente*Densidad*Hibrido	13267131,90	6	2211188,65	0,79	0,5878	
Error	67315199,07	24	2804799,96			
Total	206360168,72	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=814,70994

Error: 2804799,9611 gl: 24

Ambiente	Medias	n	E.E.	
Loma	7925,51	36	279,13	A
Bajo	9202,80	36	279,13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tabla A5. Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para peso de mil granos.
Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso mil	72	0,89	0,67	7,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	0,11	47	2,4E-03	4,01	0,0003	
Densidad	0,01	3	2,7E-03	3,33	0,0978	(Bloque*Densidad)
Bloque	1,1E-03	2	5,4E-04	0,66	0,5507	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	4,9E-03	6	8,1E-04	1,36	0,2719	
Hibrido	0,02	2	0,01	20,15	<0,0001	
Hibrido*Densidad	0,01	6	1,7E-03	2,90	0,0284	
Hibrido*Bloque	3,4E-03	4	8,5E-04	1,42	0,2563	
Hibrido*Bloque*Densidad	0,01	12	7,9E-04	1,32	0,2702	
Ambiente	0,04	1	0,04	65,57	<0,0001	
Ambiente*Hibrido	0,01	2	2,8E-03	4,67	0,0194	
Ambiente*Densidad	2,9E-03	3	9,6E-04	1,59	0,2169	
Ambiente*Densidad*Hibrido	3,6E-03	6	6,0E-04	1,00	0,4463	
Error	0,01	24	6,0E-04			
Total	0,13	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02917

Error: 0,0006 gl: 24

Hibrido	Densidad	Medias	n	E.E.
747	9	0,26	6	0,01 A
747	6	0,27	6	0,01 A
747	7,5	0,28	6	0,01 A
670	9	0,31	6	0,01 B
699	9	0,32	6	0,01 B
699	6	0,32	6	0,01 B
670	4,5	0,32	6	0,01 B
670	6	0,33	6	0,01 B
747	4,5	0,33	6	0,01 B
699	7,5	0,33	6	0,01 B
699	4,5	0,33	6	0,01 B
670	7,5	0,34	6	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02063

Error: 0,0006 gl: 24

Ambiente	Hibrido	Medias	n	E.E.
Loma	747	0,27	12	0,01 A
Loma	670	0,29	12	0,01 A B
Bajo	747	0,30	12	0,01 B
Loma	699	0,31	12	0,01 B
Bajo	699	0,34	12	0,01 C
Bajo	670	0,36	12	0,01 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tabla A6. Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para espiga pl^{-1} .

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Espigas x Planta	72	0,87	0,62	13,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	4,19	47	0,09	3,51	0,0007	
Densidad	1,58	3	0,53	47,47	0,0001	(Bloque*Densidad)
Bloque	0,46	2	0,23	20,69	0,0020	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	0,07	6	0,01	0,44	0,8476	
Hibrido	1,04	2	0,52	20,37	<0,0001	
Hibrido*Densidad	0,31	6	0,05	2,04	0,0994	
Hibrido*Bloque	0,14	4	0,04	1,38	0,2706	
Hibrido*Bloque*Densidad	0,19	12	0,02	0,63	0,7956	
Ambiente	0,03	1	0,03	1,19	0,2864	
Ambiente*Hibrido	6,1E-04	2	3,0E-04	0,01	0,9881	
Ambiente*Densidad	0,15	3	0,05	1,93	0,1514	
Ambiente*Densidad*Hibrido	0,23	6	0,04	1,51	0,2176	
Error	0,61	24	0,03			
Total	4,80	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,08584

Error: 0,0111 gl: 6

Densidad	Medias	n	E.E.	
4	1,05	18	0,02	A
3	1,05	18	0,02	A
2	1,17	18	0,02	B
1	1,41	18	0,02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,09499

Error: 0,0254 gl: 24

Hibrido	Medias	n	E.E.	
2	1,02	24	0,03	A
3	1,17	24	0,03	B
1	1,31	24	0,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Tabla A7. Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para hileras espiga¹

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hileras*espiga	72	0,88	0,63	4,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	75,39	47	1,60	3,61	0,0006	
Densidad	2,74	3	0,91	1,48	0,3112	(Bloque*Densidad)
Bloque	0,81	2	0,41	0,66	0,5511	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	3,70	6	0,62	1,39	0,2596	
Hibrido	57,85	2	28,93	65,08	<0,0001	
Hibrido*Densidad	0,58	6	0,10	0,22	0,9671	
Hibrido*Bloque	1,17	4	0,29	0,66	0,6258	
Hibrido*Bloque*Densidad	5,83	12	0,49	1,09	0,4080	
Ambiente	0,06	1	0,06	0,12	0,7268	
Ambiente*Hibrido	1,50	2	0,75	1,68	0,2067	
Ambiente*Densidad	0,13	3	0,04	0,10	0,9602	
Ambiente*Densidad*Hibrido	1,01	6	0,17	0,38	0,8855	
Error	10,67	24	0,44			
Total	86,06	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,39720

Error: 0,4444 gl: 24

Hibrido	Medias	n	E.E.	
1	13,93	24	0,14	A
3	14,55	24	0,14	B
2	16,07	24	0,14	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tabla A8. *Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para granos hilera¹*
Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos*Hilera	72	0,81	0,43	5,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	360,10	47	7,66	2,13	0,0239	
Densidad	84,93	3	28,31	8,49	0,0140	(Bloque*Densidad)
Bloque	18,64	2	9,32	2,79	0,1387	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	20,01	6	3,33	0,93	0,4926	
Hibrido	10,79	2	5,40	1,50	0,2429	
Hibrido*Densidad	40,30	6	6,72	1,87	0,1277	
Hibrido*Bloque	7,63	4	1,91	0,53	0,7140	
Hibrido*Bloque*Densidad	59,40	12	4,95	1,38	0,2425	
Ambiente	10,48	1	10,48	2,92	0,1005	
Ambiente*Hibrido	33,84	2	16,92	4,71	0,0188	
Ambiente*Densidad	42,18	3	14,06	3,91	0,0208	
Ambiente*Densidad*Hibrido	31,90	6	5,32	1,48	0,2271	
Error	86,20	24	3,59			
Total	446,30	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,59688

Error: 3,5918 gl: 24

Ambiente	Hibrido	Medias	n	E.E.
Loma	2	31,25	12	0,55 A
Loma	1	32,54	12	0,55 A B
Bajo	3	32,67	12	0,55 A B
Bajo	2	33,45	12	0,55 B
Bajo	1	33,71	12	0,55 B
Loma	3	33,75	12	0,55 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,84391

Error: 3,5918 gl: 24

Ambiente	Densidad	Medias	n	E.E.
Loma	4	29,77	9	0,63 A
Loma	3	32,19	9	0,63 B
Bajo	3	32,66	9	0,63 B C
Bajo	4	33,11	9	0,63 B C
Bajo	2	33,12	9	0,63 B C
Loma	2	33,60	9	0,63 B C
Bajo	1	34,23	9	0,63 C
Loma	1	34,50	9	0,63 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tabla A9. Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para granos espiga¹
Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos*Espiga	72	0,84	0,54	7,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	155194,35	47	3302,01	2,77	0,0044	
Densidad	30153,73	3	10051,24	4,33	0,0603	(Bloque*Densidad)
Bloque	1154,24	2	577,12	0,25	0,7876	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	13934,51	6	2322,42	1,95	0,1138	
Hibrido	44681,24	2	22340,62	18,73	<0,0001	
Hibrido*Densidad	5749,25	6	958,21	0,80	0,5770	
Hibrido*Bloque	3965,72	4	991,43	0,83	0,5184	
Hibrido*Bloque*Densidad	24056,25	12	2004,69	1,68	0,1347	
Ambiente	1253,10	1	1253,10	1,05	0,3155	
Ambiente*Hibrido	17627,58	2	8813,79	7,39	0,0032	
Ambiente*Densidad	10501,23	3	3500,41	2,94	0,0538	
Ambiente*Densidad*Hibrido	2117,50	6	352,92	0,30	0,9328	
Error	28619,25	24	1192,47			
Total	183813,60	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=29,09619

Error: 1192,4686 gl: 24

Ambiente	Hibrido	Medias	n	E.E.
Loma	1	451,72	12	9,97 A
Bajo	3	468,84	12	9,97 A
Bajo	1	469,82	12	9,97 A
Loma	2	501,06	12	9,97 B
Loma	3	502,76	12	9,97 B
Bajo	2	541,90	12	9,97 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=33,59739

Error: 1192,4686 gl: 24

Ambiente	Densidad	Medias	n	E.E.
Loma	4	438,72	9	11,51 A
Bajo	3	479,86	9	11,51 B
Loma	3	481,36	9	11,51 B
Bajo	4	486,51	9	11,51 B C
Bajo	2	487,07	9	11,51 B C D
Loma	2	504,54	9	11,51 B C D
Loma	1	516,09	9	11,51 C D
Bajo	1	520,65	9	11,51 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tabla A10. Tabla de ANOVA y Test de LSD Fisher para plantas ha⁻¹

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plantas*hectarea	72	0,80	0,42	16,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	9985860645,97	47	212465120,13	2,08	0,0275	
Densidad	7412581172,20	3	2470860390,73	14,87	0,0035	(Bloque*Densidad)
Bloque	29962209,27	2	14981104,64	0,09	0,9150	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	996850801,58	6	166141800,26	1,63	0,1826	
Hibrido	306216092,77	2	153108046,38	1,50	0,2432	
Hibrido*Densidad	141713152,12	6	23618858,69	0,23	0,9622	
Hibrido*Bloque	7519473,36	4	1879868,34	0,02	0,9993	
Hibrido*Bloque*Densidad	470487664,92	12	39207305,41	0,38	0,9564	
Ambiente	0,00	1	-2,9E-06	0,00	>0,9999	
Ambiente*Hibrido	223154832,98	2	111577416,49	1,09	0,3511	
Ambiente*Densidad	301241671,76	3	100413890,59	0,98	0,4168	
Ambiente*Densidad*Hibrido	96133575,01	6	16022262,50	0,16	0,9857	
Error	2448803269,10	24	102033469,55			
Total	12434663915,06	71				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10513,23650

Error: 166141800,2631 gl: 6

Densidad	Medias	n	E.E.
1	49317,95	18	3038,11 A
2	60315,29	18	3038,11 B
3	65417,15	18	3038,11 B
4	77548,23	18	3038,11 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Tabla A11. Tabla de ANOVA para granos m⁻²

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos m-2	72	0,71	0,14	18,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	23889862,85	47	508294,95	1,25	0,2830	
Densidad	2091518,72	3	697172,91	1,81	0,2462	(Bloque*Densidad)
Bloque	4764848,89	2	2382424,44	6,17	0,0350	(Bloque*Densidad)
Bloque*Densidad	2315507,35	6	385917,89	0,95	0,4803	
Hibrido	1198487,06	2	599243,53	1,47	0,2495	
Hibrido*Densidad	2815463,53	6	469243,92	1,15	0,3636	
Hibrido*Bloque	2317628,34	4	579407,08	1,42	0,2567	
Hibrido*Bloque*Densidad	3943916,72	12	328659,73	0,81	0,6410	
Ambiente	410947,36	1	410947,36	1,01	0,3251	
Ambiente*Hibrido	1477082,77	2	738541,39	1,81	0,1847	
Ambiente*Densidad	705178,62	3	235059,54	0,58	0,6356	
Ambiente*Densidad*Hibrido	1849283,49	6	308213,91	0,76	0,6104	
Error	9772990,35	24	407207,93			
Total	33662853,19	71				