



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

EFEECTO DE LA ESTRUCTURA DE CULTIVO Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

**Autores:
Brun, Francisco
Echave, Alejo**

Director: Ing. Agr. Miguel Ángel Fernández

**Ingeniería Agronómica
Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa
Año: 2015**

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
Generación de rendimiento en maíz.....	4
Problemática.....	5
Densidad de siembra.....	6
Distancia entre hileras.....	7
Fertilización nitrogenada.....	8
Hipótesis.....	9
Objetivos.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	12
Análisis de resultados.....	12
1.Análisis del rendimiento en función de la densidad, DEH y dosis de Urea.....	13
2.Análisis del comportamiento de los distintos componentes del rendimiento.....	15
a.Nº Espigas/pl.....	15
b.Largo de Espiga.....	17
c.NG/m ²	19
d.PMG.....	20
e.MS/ha.....	22
f.IC.....	24
3.Comportamiento del canopeo de un cultivo de maíz al variar la estructura del cultivo...24	
a.Temperatura del canopeo en función de las diferentes densidades, DEH y dosis de Urea.....	24
b.Radiación interceptada por el canopeo en función de las diferentes densidades, DEH y dosis de Urea.....	26
c.Concentración de N en el canopeo mediante indicadores de verdor, en función de diferentes densidades, DEH y dosis de Urea.....	27
CONCLUSIÓN.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	31

RESUMEN

En La Pampa la disponibilidad hídrica es el factor que más limita la producción de maíz. Las decisiones de manejo deberían apuntar a ubicar los periodos críticos en aquellas condiciones que maximicen el rendimiento. Estas están relacionadas con la estructura de cultivo (fecha y densidad de siembra, distancia entre hileras - DEH-, elección del genotipo) y otras prácticas como manejo del agua y los nutrientes, y la protección de los cultivos. En este ensayo se intentó evaluar cómo afectan al rinde, modificaciones en la densidad de siembra, la DEH y la fertilización nitrogenada.

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar recursos, afectando la captura y utilización de radiación, agua y nutrientes. El efecto de la distribución espacial de las plantas sobre el rendimiento está asociado a la magnitud del déficit o exceso de recursos por planta. La DEH puede ser utilizada con criterio agronómico para mejorar las condiciones de crecimiento de los cultivos. En general, el rendimiento del cultivo tiende a ser mayor a cualquier densidad cuando las plantas se distribuyen regularmente (rectangularidad 1:1). La disponibilidad de nutrientes afecta la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos.

En la campaña 2012/13 se sembró en híbrido Don Mario 2741 MG RR2 a dos DEH (50 y 70 cm), diferentes densidades (4, 6 y 8 pl/ m²), y utilizando diferentes dosis de urea (0, 100 y 200 kg/ha) aplicadas al voleo en el estadio V6. Los datos de cada tratamiento fueron analizados por ANAVA y las medias comparadas por el test de LSD de Fisher.

En las parcelas con DEH a 50 cm los resultados arrojaron diferencias significativas en el rinde para las diferentes dosis de urea, no siendo así para las plantas por m². Fertilizar permitió lograr mayor rendimiento, al aumentar el NG/m² (mediante mayor N° de espigas por planta) y el PMG. También generó más MS/ha sin modificar el IC. La baja densidad de plantación produjo más espigas por planta y mayor largo de las mismas, sin embargo el NG/ m² fue igualmente menor que en los tratamientos con mayor N° de plantas/ m². El PMG, como era de esperar, fue mayor a bajas densidades, compensando el menor NG/ m² y así logrando rindes semejantes a todas las densidades.

En las parcelas con DEH a 70 cm, en cambio, el análisis arroja diferencias significativas entre las distintas densidades de plantas, no así al variar la dosis de Urea. Fertilizar no logró aumentar el N° de espigas por planta, pero si aumentó el tamaño de las mismas, aunque no llegó a generar mayor NG/m². El PMG fue mayor al fertilizar pero no logró influir marcadamente en el rinde. La baja densidad de siembra produjo mayor N° de espigas por planta y mayor largo de las mismas, compensando la disminución del N° de plantas/m² y logrando igual NG/m². Los mayores PMG se registraron en las bajas densidades. La variación de PMG por densidad fue de mayor magnitud que la lograda al fertilizar con Urea y efectivamente repercutió en el rendimiento, siendo este mayor en las densidades bajas y medias. Ni fertilizar, ni disminuir la densidad de siembra logró modificaciones significativas en la producción de MS y en el IC.

Se aceptó la hipótesis de que en ambientes de mediana a baja productividad resultarían convenientes bajas densidades de siembra. Como no ocurrió déficit hídrico en floración, por la presencia de napa, no se pudo comprobar el beneficio de sembrar a mayor DEH para conservar más agua para el período crítico del cultivo. El aumento de rendimiento debido al aporte de N, se comprobó solo a la DEH de 50 cm.

Palabras Claves: *Zea mays, Estructura, Densidad, DEH, Fertilización, Rendimiento.*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz es sin dudas uno de los más difundidos en la Región Semiárida Pampeana. En la provincia de La Pampa en los últimos 5 años (2009/10-2014/15) se sembraron por campaña 346.240 has; ubicándose solo por detrás del cultivo de soja, del cual se implantaron 434.615 has, en promedio. La superficie cosechada de maíz anualmente en estos años fue de 116.160 has, logrando un rinde medio de 4.596 Kg/ha cosechada (SIIA, 2015).

Generación de rendimiento en maíz:

Los procesos que regulan el desarrollo de un cultivo son complejos, debido a que responden a factores tanto genéticos como ambientales, existiendo, en muchas ocasiones, interacción entre ambos. Los principales factores del ambiente que modifican en forma importante el desarrollo de los cultivos estivales (tasa de desarrollo o duración de las etapas ontogénicas) son temperatura y fotoperiodo. La fertilidad del suelo, la disponibilidad hídrica y la radiación pueden modificar la tasa de desarrollo de los cultivos; sin embargo, el impacto que estas variables tienen como modificadores de la duración de las etapas ontogénicas son de magnitud reducida (Satorre, *et al.* 2003).

El rendimiento generado en un cultivo de grano es función de la biomasa total (BT) generada y el índice de cosecha (IC) (Satorre, *et al.* 2003). La producción de materia seca está estrechamente vinculada con el aprovechamiento de la radiación solar incidente, con la capacidad del canopeo para interceptarla y la eficiencia del cultivo para transformarla en carbono fijado (Andrade, *et al.*, 1996).

Para lograr altos valores de intercepción de la radiación en un cultivo, es importante generar en forma temprana un IAF que permita interceptar rápidamente la mayor proporción de radiación incidente y, además, es esencial que ese valor de IAF se mantenga durante la mayor cantidad de tiempo posible (Satorre, *et al.* 2003). La intercepción de radiación por el cultivo es función de la densidad de plantas y del arreglo espacial de estas plantas y sus hojas en el terreno (Willey y Heath, 1969).

En cuanto a la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), dentro de una especie, es relativamente constante. El maíz por ser una especie C4, tiene mayor EUR que, por ejemplo, los cereales de invierno que son C3. También presenta mayor EUR que otros cultivos estivales, como girasol o soja, por el tipo de materia seca que produce. Sin embargo, la EUR puede verse modificada por la temperatura y por severas limitaciones hídricas que disminuyen la EUR en la medida que afectan la fotosíntesis. Con relación al nitrógeno, existe una relación positiva y curvilínea entre el nitrógeno foliar específico y la EUR (Satorre, *et al.* 2003).

Sadras y Connor (1991) demostraron que el IC se relaciona con la proporción de transpiración post-antesis. En los ambientes de la región pampeana, debido a la distribución irregular de las lluvias, es dificultoso implementar prácticas agronómicas que tiendan a mejorar el IC. La fracción de agua transpirada post-antesis variará en gran medida en función de la distribución de las lluvias en el ciclo y las reservas de agua en el suelo. El IC

varía con el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo x ambiente (Satorre, *et al.* 2003).

Problemática:

De los factores limitantes del rendimiento en cultivos de secano, la disponibilidad nutricional es fácilmente modificable por el productor, dentro de ciertos límites, con el agregado de fertilizantes, mientras que el estrés hídrico es mucho más dificultoso de modificar en nuestra zona debido a la escasez de agua para riego. Las temperaturas, el fotoperiodo y la radiación solamente se pueden modificar variando la época de siembra. Sin embargo, el conocimiento de los patrones de oferta y demanda de estas variables permite al productor tomar decisiones de manejo para controlar la demanda de los recursos por parte del cultivo para usarlos de manera eficiente.

Las decisiones de manejo deberían ubicar los periodos críticos en aquellas condiciones que maximicen el rendimiento. Las prácticas de manejo están relacionadas con la estructura de cultivo (fecha de siembra, densidad de siembra, espaciado entre hileras, elección del genotipo) y otras prácticas como manejo del agua y los nutrientes y la protección de los cultivos. La estructura del cultivo determina la captación de recursos del ambiente y modula varios factores del sistema, a través de la modificación del microclima dentro del canopeo (Satorre, *et al.* 2003). La estructura de un dosel, ejerce influencia en la temperatura, concentración de vapor y el régimen de radiación en el ambiente que rodea la planta; afecta los procesos de fotosíntesis, transpiración, alargamiento de células, crecimiento y competencia entre especies (Russell *et al.*, 1989).

En la Provincia de La Pampa la disponibilidad hídrica es el factor que más limita la producción de maíz, tal cual cita el *Inventario Integrado de La Pampa*, (1980). El agua disponible para el cultivo depende del agua útil almacenada en el suelo al momento de la siembra, y del balance entre precipitaciones y evapotranspiración que resulte en el ciclo del cultivo. Dada la baja capacidad de retención que poseen los suelos, el período de aprovechamiento de las lluvias para el crecimiento de los cultivos es muy corto. Las mayores precipitaciones medias mensuales ocurren en el semestre estival (octubre a marzo) con mayores valores en noviembre, diciembre y marzo (Casagrande *et al.*, 2014). La variabilidad de las precipitaciones mensuales y anuales es muy grande, siendo ésta una característica de las regiones áridas y semiáridas. El resultado que arroja el balance hídrico, es un pequeño déficit en el mes de agosto y un gran déficit de octubre a marzo. Si bien es ésta la época de mayores precipitaciones, la acción de la elevada temperatura hace que la evapotranspiración sea muy grande y por lo tanto las deficiencias hídricas aumentan notablemente (*Inventario Integrado de La Pampa*, 1980).

El objetivo de este ensayo fue evaluar cómo afectan a la fenología y al rinde, las modificaciones en el manejo del cultivo como la densidad de siembra, la distancia entre hileras y la fertilización nitrogenada.

Densidad de siembra:

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la captura y utilización de radiación, agua y nutrientes (Satorre, *et al.* 2003).

El efecto de la distribución espacial de las plantas sobre el rendimiento está asociado a la magnitud del déficit o exceso de recursos por planta (Andrade *et al.*, 1999; Vega *et al.*, 2001). En cultivos densos se incrementa la competencia intraespecífica (Vega y Sadras, 2003; Maddonni y Otegui, 2004). La competencia causa una reducción en el crecimiento, fecundidad, rendimiento y hasta la supervivencia de las plantas individuales del cultivo. En general, el rendimiento por unidad de área del cultivo de maíz presenta una marcada respuesta parabólica al aumento de la densidad. Mientras que el rendimiento por planta disminuye con aumentos en la densidad, el rendimiento del cultivo se incrementa hasta un máximo a partir del cual, el aumento en el número de individuos lo reduce marcadamente (Satorre, *et al.* 2003). La densidad óptima puede ser definida como aquella a la cual, se logra el mayor rendimiento con el menor número de plantas por unidad de superficie (Satorre, *et al.* 2003). Esta densidad va a depender del ambiente y del manejo del cultivo, además de las características propias del genotipo.

En ausencia de limitantes hídricas y nutricionales, el crecimiento de un cultivo está directamente relacionado con la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que es interceptada por el canopeo y la eficiencia con que dicha radiación es convertida en materia seca. La densidad de plantas puede afectar principalmente la radiación interceptada a través de la posibilidad de lograr mayores coberturas mas tempranamente en el ciclo del cultivo o mayores valores totales de intercepción (Satorre, *et al.* 2003).

La sensibilidad de la biomasa total producida y el rendimiento frente a variaciones en la densidad de plantas, depende de la plasticidad de los genotipos en la generación y fijación de estructuras vegetativas y reproductivas adicionales por planta (mecanismos de compensación en bajas densidades) y de la tolerancia al estrés por alta densidad que posee la especie. El cultivo de maíz posee escasa regulación del área foliar por planta ante variaciones en la densidad de siembra. Por consiguiente, en bajas densidades de siembra, el cultivo no alcanza a desarrollar suficiente área foliar para alcanzar el IAF crítico (Satorre, *et al.*, 2003).

El maíz además de tener poca capacidad de compensación del área foliar, tiene escasa capacidad para diferenciar estructuras reproductivas adicionales frente a densidades subóptimas (Edmeades y Daynard, 1979). El rendimiento entonces, aún en densidades que logran alcanzar el IAF crítico a floración disminuye por presentar menor número de granos por superficie. Sin embargo en el mercado existen híbridos prolíficos que tienen mayor tendencia a producir una segunda espiga en caso que la planta tenga recursos suficientes, también existen híbridos denominados “flex” que tienden a aumentar el largo de la espiga logrando mayor número de granos por m². Ambas son una alternativa interesante a utilizar en siembras a baja densidad.

En ambientes donde la oferta hídrica y nutricional es pobre, densidades que son óptimas en ambientes ricos también ocasionan déficits de recursos en las plantas individuales. En ambos casos, las disminuciones en el rendimiento se deben a caídas en el peso y número de granos. La reducción en el número de granos responde al aumento de plantas estériles y a la disminución de granos por espiga (Tethio-Kagho y Gardner, 1988; Hashemi-Dezfouli y Herbert, 1992). Esto estaría ligado a la jerarquía de dominancia de las diferentes estructuras dentro de la planta: las espigas (material cosechado) constituyen un órgano secundario respecto de la panoja y resultarían, por lo tanto, mucho más susceptibles a condiciones de estrés ambiental (falta de agua) y/o de altas densidades (competencia por luz) (Satorre, *et al.*, 2003).

En general, la elección de la densidad de siembra debería buscar el máximo aprovechamiento de los recursos, para asegurar la mayor productividad de los cultivos, lo cual se logra maximizando las tasas de crecimiento del cultivo durante sus etapas críticas de generación del rendimiento. El aumento de la captura de los recursos, particularmente en las etapas tempranas del cultivo, no necesariamente maximiza el criterio de productividad comentado. Por ejemplo, en condiciones de secano, una elevada densidad de plantas, que provoca el consumo de agua en exceso por el cultivo en una etapa relativamente temprana, puede reducir la disponibilidad de este recurso durante las etapas críticas, determinando la obtención de rendimientos semejantes a los logrados con los cultivos creciendo a menores densidades (Satorre, *et al.*, 2003).

Distancia entre hileras:

El distanciamiento entre hileras (DEH) responde más a aspectos tecnológicos que biológicos. Sin embargo, es una herramienta de manejo que puede ser utilizada con criterio agronómico para mejorar las condiciones de crecimiento de los cultivos.

Manteniendo la misma densidad de plantas, cambios en la DEH modifican la distancia entre plantas del mismo surco de manera inversa (aumentos en la DEH acercan las plantas dentro de la misma hilera; y viceversa).

En general, el rendimiento del cultivo tiende a ser mayor a cualquier densidad cuando las plantas se distribuyen regularmente (rectangularidad 1:1; que resulta del cociente entre la distancia entre hileras y la distancia entre plantas dentro de la hilera), dado que se minimiza la competencia por recursos tales como agua, nutrientes y radiación (Satorre, *et al.*, 2003). Si el ambiente define una densidad óptima baja, la siembra en hileras menos espaciadas puede presentar ventajas importantes porque se incrementa el espacio entre las plantas en la hilera (Andrade *et al.*, 2002). La siembra en surcos angostos aliviaría los efectos derivados de la competencia inicial entre plantas sobre la hilera al aumentar la separación entre plantas (Maddonni *et al.*, 2001).

En todos los cultivos, la reducción del espaciamiento entre hileras contribuye a anticipar el cierre de los entresurcos e incrementar la producción temprana de biomasa vegetativa, mejorando el aprovechamiento de la radiación solar y la competencia con malezas. El resultado de la reducción de la rectangularidad, cuando contribuye al incremento en el rendimiento, es atribuido a su efecto sobre la capacidad del cultivo de: (i)

optimizar el uso de la radiación incidente, principalmente en las primeras etapas del ciclo del cultivo, (ii) alcanzar el 95% de intercepción en la etapa crítica de la determinación del rendimiento y (iii) reducir las pérdidas de agua del suelo por evaporación. Sin embargo, en ensayos realizados por Cirilo (2000) el cierre anticipado del canopeo no significó un aumento en el rendimiento pues, las ventajas tempranas, no necesariamente se correlacionan con el ambiente que explora el cultivo en sus etapas críticas, en coincidencia con otros trabajos conducidos en maíz (Satorre, *et al.* 2003).

En caso de no existir limitaciones hídricas serias durante la floración, la respuesta del rendimiento a la reducción de la distancia entre surcos dependerá de la mejora en la cobertura que alcance el cultivo en ese momento crítico. Si por alguna razón el cultivo sembrado en surcos distantes (70 cm) no logra plena captura de la luz incidente en floración, el rendimiento mejorará al acercar los surcos debido a la mayor cobertura (Cirilo, 2000).

Cuando el cultivo se siembra en surcos angostos (50 cm), en situaciones de alta y continua disponibilidad hídrica (maíces bajo riego o años muy lluviosos), la proporción de agua evaporada directamente desde la superficie del suelo, húmeda con mayor frecuencia, se reduce y la proporción de agua transpirada por el follaje aumenta debido a la mayor y más temprana cobertura del entresurco. Sin embargo, cuando la superficie del suelo se seca se reduce su tasa de evaporación de manera notable ya que el aire que llena sus poros interrumpe la conductividad del agua en el sistema suelo-atmósfera. En esta situación, el acortamiento de la distancia entre hileras puede incrementar el consumo de agua por el cultivo, dado que el follaje ofrece menos resistencia a la pérdida de agua que el suelo seco en superficie. Este fenómeno puede intensificar los efectos negativos de la instalación de una sequía progresiva sobre la floración dado que el cultivo consume más agua del suelo en etapas tempranas y así limita la reserva hídrica. Por lo tanto, los surcos angostos pueden resultar no recomendables cuando existen riesgos de deficiencias hídricas en floración” (Cirilo, 2000).

Fertilización nitrogenada:

La disponibilidad de nutrientes durante el ciclo del cultivo, principalmente de nitrógeno, fósforo, azufre y potasio, afecta los procesos que regulan el crecimiento, la generación del rendimiento y la calidad de los cultivos de granos (Satorre *et al.*, 2003).

La disponibilidad de nutrientes afecta la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos a través de: (i) alteraciones del crecimiento de las hojas y la duración del área foliar de los cultivos; es decir, el tamaño y actividad de las fuentes de foto-asimilados; (ii) cambios en la cantidad y tamaño de órganos vegetativos y reproductivos; es decir, del tamaño y cantidad de destino de los foto-asimilados” (Satorre *et al.*, 2003).

Es esperable que en situaciones de mayor disponibilidad de agua, las eficiencias de respuesta a la fertilización sean mayores que en condiciones limitantes” (Satorre *et al.*, 2003). La concentración de nitrógeno en las hojas de las gramíneas se relaciona con su contenido de clorofila. Esta a su vez se relaciona estrechamente con la intensidad del color

verde de las hojas que puede ser evaluado con medidores de clorofila, resultando en el índice de verdor (IV) (Satorre *et al.*, 2003).

La fertilización nitrogenada aumenta generalmente la eficiencia en el uso del agua (EUA), la producción aérea y el rendimiento de grano en ambientes sin limitaciones de humedad o con un moderado déficit; pero en lugares de baja disponibilidad de agua puede resultar perjudicial ya que puede aumentar el consumo de agua durante el crecimiento vegetativo y agotar las reservas para los momentos de mayores demandas (Nielsen y Halvorson, 1991).

Hipótesis

- I. En sistemas extensivos de secano y en ambientes de mediana a baja productividad, resultarán convenientes bajas densidades de siembra, para obtener buena disponibilidad de recursos por planta y evitar plantas no productivas.
- II. Con déficit hídrico cercano a floración, un cultivo sembrado a mayor distancia entre hileras se verá beneficiado por llegar al periodo crítico con mayor reserva de agua en el entresurco, debido a la menor conductividad de agua del suelo con respecto al follaje.
- III. El aporte de N en estado temprano (V6) mejorará el uso de la radiación y con ello el rendimiento del cultivo de maíz en la región semiárida.

Objetivos

1. Encontrar densidad, DEH, y dosis de Urea óptimas, mediante análisis del rendimiento.
2. Analizar el comportamiento de los distintos componentes del rendimiento para explicar, en lo posible la variabilidad en el rinde.
 - a. N° Espigas/pl
 - b. Largo de Espiga
 - c. NG/m²
 - d. PMG
 - e. MS/ha
 - f. IC
3. Evaluar el comportamiento del canopeo de un cultivo de maíz al variar la estructura del cultivo, cuantificando variables ambientales que inciden en el rinde:
 - a. Temperatura de canopeo en función diferentes densidades, DEH y dosis de Urea.
 - b. Radiación interceptada por el canopeo en función diferentes densidades, DEH y dosis de Urea.
 - c. Concentración de N en el canopeo, mediante indicadores de verdor, en función diferentes densidades, DEH y dosis de Urea.

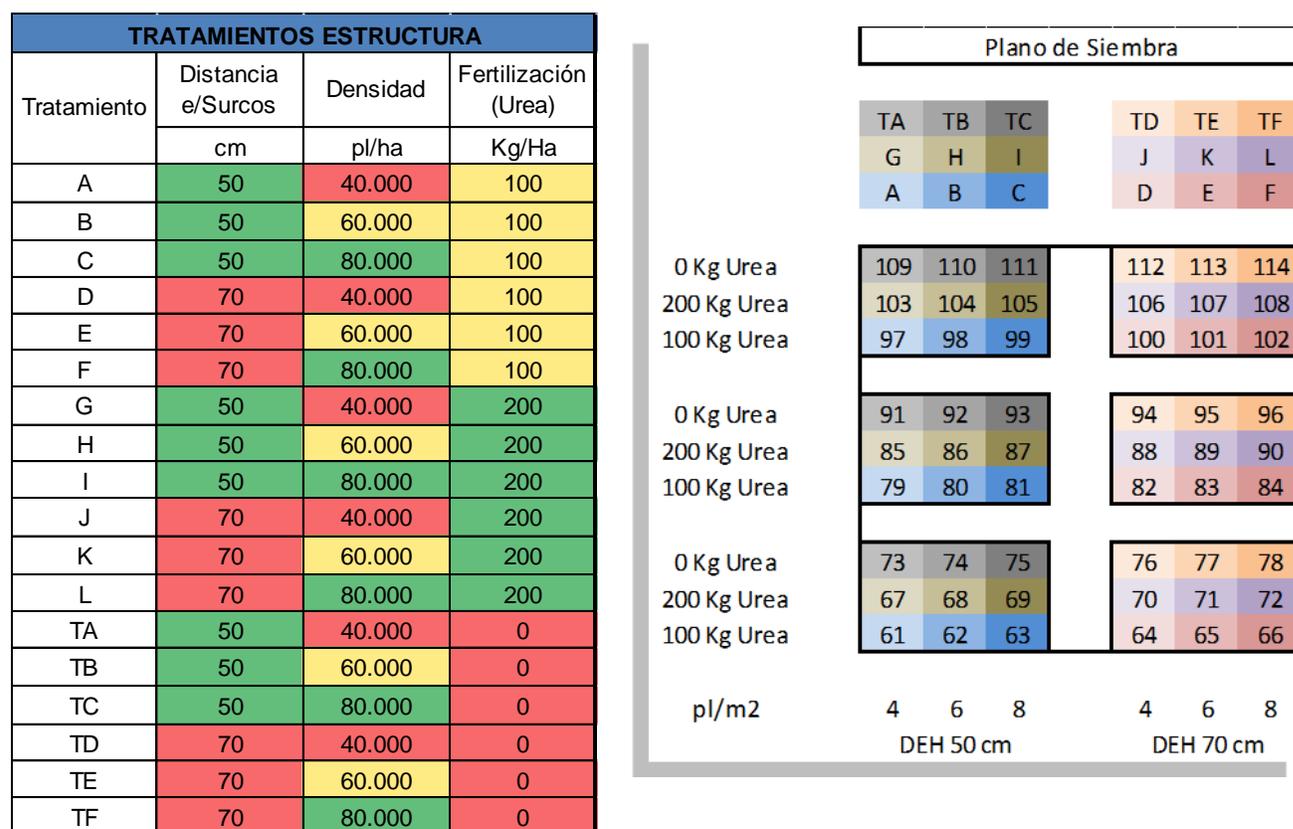
MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el establecimiento “Las Cuevas”, Ruta Nac. N° 5 Km. 532, departamento Catriló, Provincia de La Pampa (Latitud: 36° 26' Sur - Longitud: 63° 24' Oeste). El suelo del sitio del ensayo es un Haplustol éntico, típico de la zona. El cultivo se llevo a cabo sobre un rastrojo de girasol.

La siembra se realizó el 1 de noviembre con sembradora de siembra directa neumática sobre un suelo previamente barbechado. El barbecho se realizó con 900 gr/ha de equivalente ácido de Glifosato, 1 kg/ha de Atrazina 90% y 300 cm³/ha de 2,4-D Sal Amina; 30 días previos a la siembra. El diseño del ensayo fue en fajas con 3 réplicas (Pimentel Gomes, 1978). El tamaño de las parcelas fue de 8 metros de largo por seis hileras de ancho, a dos distanciamientos entre estas (DEH): 0.50 m y 0.70 m; y a tres densidades teóricas: 40.000, 60.000 y 80.000 plantas/ha. En la **Figura 1** se detallan los tratamientos y la estructura de siembra.

Se utilizó el híbrido Don Mario 2741 MG RR2 recomendado por el semillero para la zona del ensayo debido a su buen comportamiento frente al Mal de Río IV. La tecnología MG brinda protección contra insectos lepidópteros a lo largo de todo el ciclo del cultivo y en toda la planta (control total de *Diatraea saccharalis*, control parcial de *Helicoverpa zea* y *Spodoptera frugiperda*). La tecnología RR2 le otorga al híbrido la resistencia al glifosato con tecnología de segunda generación.

Figura 1 –Tratamientos y Plano de Siembra



Al momento de la siembra se incorporó fosfato diamónico grado técnico 18-46-0, en dosis de 40 Kg/ha al costado de la semilla como base para todo el ensayo. Cuando el Cultivo tuvo la sexta hoja expandida (V6) se realizó la aplicación al voleo de las distintas dosis de urea que correspondan a cada parcela (0, 100 o 200 Kg Urea/ha). Durante el ensayo se mantuvieron las parcelas libres de malezas, de forma manual mediante la utilización del equipo adecuado.

En la etapa crítica del cultivo se realizaron las mediciones correspondientes (aproximadamente 15 días antes de floración, el 16 de enero; en floración, el 30 enero; y otra 15 días después, el 14 de febrero):

- Temperatura del canopeo con termómetro láser (Infrared Termometer Stándard).
- Índice de verdor en hoja de la espiga con Minolta SPAD 502¹.
- Radiación incidente en la parte superior al canopeo, entre la panoja y la espiga, en la espiga y en la parte inferior del cultivo con Line Quantum Sensor marca: LI-COR, modelo LI-1000.

La cosecha se realizó en forma manual, extrayendo una muestra de 3 m lineales de cada tratamiento y cada réplica. La trilla fue mecánica, con una trilladora estacionaria. En cada tratamiento se midieron los siguientes componentes: número de espigas por planta (EPP), número de granos por metro cuadrado (NG), peso de mil granos (PMG), materia seca total por planta cosechada (MSPP), rendimiento (RE) e índice de cosecha (IC). Todas las muestras se estabilizaron secando en estufa de circulación forzada a 60°C durante 48 hs; luego los datos fueron llevados a 14 % de humedad.

Los datos obtenidos fueron analizados por ANAVA y las medias comparadas por el test de LSD de Fisher, para un valor de $p \leq 0.05$. Se utilizó para ello el software Infostat 2011p.

¹ La suficiencia de N no está representada por un único valor de SPAD. Los valores observados en cultivos sin deficiencias se incrementan en la medida que avanza la edad del cultivo. Los valores de SPAD en hojas viejas suelen, además, ser más bajos que los observados en hojas jóvenes. Varvel et al., (1997) propusieron para maíz la determinación, a partir del IV, de un índice de suficiencia de N (ISN). La corrección o normalización de las mediciones se realiza sobre parcelas de referencia que han recibido altos niveles de fertilización. $ISN = (SPAD \text{ lote} / SPAD \text{ parcela alta fertilización}) * 100$. Cuando se utiliza esta referencia, un valor relativo de SPAD de 0.92-0.95 con relación a estas parcelas es indicativo de suficiencia de N (Satorre et al., 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis climático:

En la **Figura 2** se detallan las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo comparadas con la media histórica de la región (1961/2012). Entre Octubre de 2012 y Mayo de 2013 se registraron 49 mm por encima del promedio histórico. Los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron los que mayores precipitaciones recibieron. En los meses de enero y febrero, en cambio, las precipitaciones estuvieron por debajo de la media.

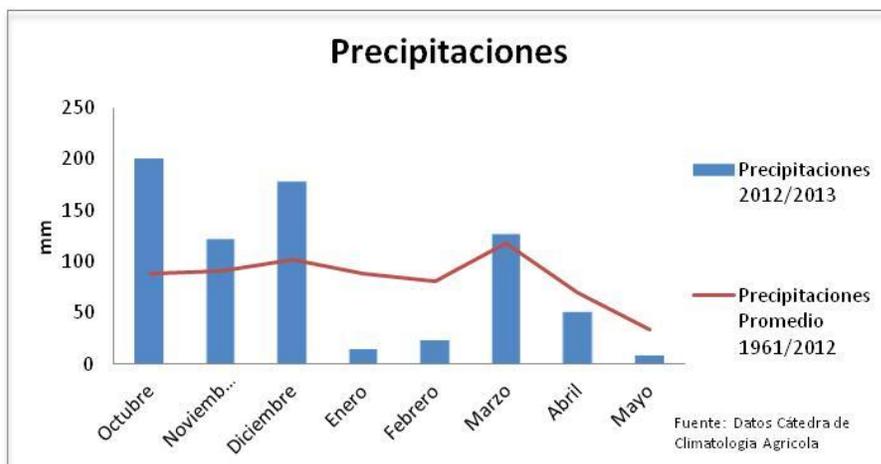


Figura 2 – Precipitaciones históricas y precipitaciones de la campaña 2012-2013 –

En la **Figura 3** se compara las precipitaciones durante el ciclo del cultivo con la evapotranspiración potencial (ETP) del ambiente. Aquí en octubre las lluvias fueron superiores a la evapotranspiración permitiendo un almacenaje de agua en el perfil. En los meses de noviembre y diciembre las precipitaciones fueron semejantes a las evapotranspiradas permitiendo al cultivo utilizar el agua almacenada en el perfil en los meses de enero y febrero en los cuales el déficit hídrico fue mayor.

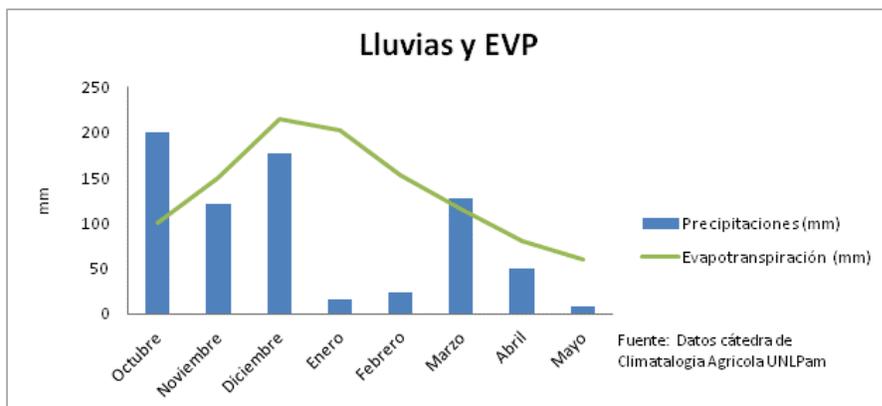


Figura 3 – Comparación de las precipitaciones con la ETP (Oct 12/May 13).

Hay que remarcar que al momento de la siembra el agua útil almacenada en el suelo era de 344 mm en 2 m de profundidad, lo que evidencia la presencia de napa en el lote.

Análisis de resultados:

1. Análisis del rendimiento en función de la densidad, DEH, y dosis de Urea:

En la **tabla 1** se observa el Análisis de la Varianza del rinde en función de las distintas variables estudiadas. Como se obtuvo una interacción entre la DEH y la densidad y entre DEH y fertilización con urea se realizó otro ANAVA particionado por DEH (50 cm y 70 cm entre surcos).

Tabla 1 – ANAVA del Rinde en función de la densidad, DEH y dosis de Urea –

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV			
Rinde Kg/ha	54	0,61	0,43	17,68			
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo	137321504,37	17	8077735,55	3,37	0,0011		
Urea Kg/ha	62482138,93	2	31241069,46	13,05	0,0001		
DEH	13753176,00	1	13753176,00	5,75	0,0218		
pl/ha	80212,48	2	40106,24	0,02	0,9834		
Urea Kg/ha*DEH	17293454,11	2	8646727,06	3,61	0,0372		
Urea Kg/ha*pl/ha	1824269,63	4	456067,41	0,19	0,9418		
DEH*pl/ha	35031484,11	2	17515742,06	7,32	0,0022		
Urea Kg/ha*DEH*pl/ha	6856769,11	4	1714192,28	0,72	0,5864		
Error	86172969,33	36	2393693,59				
Total	223494473,70	53					

La **tabla 2** muestra el ANAVA dentro de los tratamientos con un distanciamiento de 50 cm entre hileras, donde los resultados arrojaron diferencias significativas para las diferentes dosis de urea, no así para la densidad de plantas por hectáreas. Por lo que se puede concluir que aún la densidad de 40.000 pl/ha alcanzaría para lograr un stand de plantas mínimo para generar el rinde potencial en ese ambiente. En coincidencia con lo citado por Satorre, *et al.* (2003): en condiciones de secano, una elevada densidad de plantas, que provoca el consumo de agua en exceso por el cultivo en una etapa relativamente temprana, puede reducir la disponibilidad de este recurso durante las etapas críticas, determinando la obtención de rendimientos semejantes a los logrados con los cultivos creciendo a menores densidades.

Tabla 2 – ANAVA del Rinde en función de la densidad y la dosis de urea con 50 cm de DEH –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
50,00	Rinde Kg/ha	27	0,64	0,47	18,61		
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor		
Modelo	93377561,19	8	11672195,15	3,93	0,0076		
Urea Kg/ha	72705705,85	2	36352852,93	12,25	0,0004		
pl/ha	17958597,85	2	8979298,93	3,02	0,0737		
Urea Kg/ha*pl/ha	2713257,48	4	678314,37	0,23	0,9188		
Error	53431274,00	18	2968404,11				
Total	146808835,19	26					

Si analizamos las diferentes dosis de urea se observa una diferencia significativa en el rendimiento al comparar las parcelas fertilizadas con las testigo (**tabla 3**), no encontrándose diferencias entre las dos dosis utilizadas (100 y 200 kg/ha). Remarcando lo ya citado de Satorre *et al*, (2003): la disponibilidad de nutrientes afecta la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos. Haciendo el mismo análisis que con la densidad, se puede definir que con dosis de Urea de 100 Kg/ha es suficiente para lograr el rinde máximo.

Tabla 3 – Efecto de la fertilización con urea a 50 cm de DEH –

Urea Kg/ha	Medias	n
0,00	6952,56	9 A
100,00	10169,56	9 B
200,00	10648,11	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En la **tabla 4** se muestran los resultados del ANAVA para el rendimiento en los distintos tratamientos que tengan una DEH de 70 cm. Este análisis arroja diferencias significativas entre las parcelas con distintas densidades de plantas, no así al variar la dosis de Urea. Es decir con esta estructura de siembra (DEH: 70 cm) no es necesario fertilizar con Urea para lograr un rinde significativamente mayor.

Tabla 4 – ANAVA del Rinde en función de la densidad y la dosis de urea con 70 cm de DEH –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
70,00	Rinde Kg/ha	27	0,48	0,25	16,35	
	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo	30190767,19	8	3773845,90	2,07	0,0947
	Urea Kg/ha	7069887,19	2	3534943,59	1,94	0,1721
	pl/ha	17153098,74	2	8576549,37	4,72	0,0226
	Urea Kg/ha*pl/ha	5967781,26	4	1491945,31	0,82	0,5291
	Error	32741695,33	18	1818983,07		
	Total	62932462,52	26			

Al estudiar las diferencias registradas en el rinde de las parcelas con DEH: 70 cm y distintas densidades de plantas (**tabla 5**) se observa que a altas densidades el rendimiento disminuye significativamente, probablemente debido a la competencia intra-específica que repercute en la cantidad de recursos por planta en coincidencia con Vega y Sadras, (2003) y Maddonni y Otegui, (2004).

Tabla 5 – Efecto de la densidad de plantas sobre el Rinde a 70 cm de DEH –

pl/ha	Medias	n
80000,00	7166,78	9 A
60000,00	8510,00	9 B
40000,00	9065,44	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Para poder estudiar el efecto de las dos DEH utilizadas se realizaron ANAVAS separando por fertilidad y densidad de plantas debido a las interacciones encontradas en el ANAVA principal. La **tabla 6** refleja los resultados encontrados en este análisis

estadístico. Debido a las particiones realizadas, los grados de libertad del error experimental fueron bajos (4) lo que dificultó la diferenciación de los tratamientos. Solamente se encontró diferencias significativas en la más alta densidad fertilizada con 100 Kg de Urea/ha.

Tabla 6 - Rinde en función de las DEH separado por densidad de plantas y fertilidad -

		40000 pl/ha			60000 pl/ha			80000 pl/ha		
		N: 0	N: 100	N: 200	N: 0	N: 100	N: 200	N: 0	N: 100	N: 200
Rinde	DEH: 70 cm	9180 a	8795 a	9220 a	7115 a	9444 a	8969 a	6276 a	5719 a	7704 a
	DEH: 50 cm	5897 a	9420 a	10173 a	6868 a	9337 a	10448 a	8091 a	11751 b	11322 a
	DMS	3335	4260	981	2546	2961	5467	3307	2755	4096
	CV	19,51	20,64	4,47	16,06	13,91	24,84	20,31	12,61	18,99

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) dentro de cada columna

2. Análisis del comportamiento de los distintos componentes del rendimiento:

Estudiar la respuesta de los distintos componentes del rendimiento nos permite entender el por qué de las variaciones en el rinde al modificar la estructura del cultivo y detectar, de existir, los mecanismos de compensación a bajas densidades que presenta la especie. Seguiremos realizando el análisis de forma particionada según DEH para poder relacionarlo con las variaciones encontradas en el rinde.

a. N° Espigas/pl: En la *tabla 7* se observa que el N° de espigas por planta, para la DEH de 50 cm, varía de manera significativa al modificar la dosis de Urea utilizada en la fertilización, así como en los tratamientos con distinta densidad de plantas.

Tabla 7. - ANAVA del N° de Espigas/pl. según densidad y dosis de Urea a 50 cm DEH-

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
50,00	Espigas/pl	27	0,74	0,62	13,15	
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		1,35	8	0,17	6,40	0,0005
Urea Kg/ha		0,30	2	0,15	5,62	0,0127
pl/ha		0,98	2	0,49	18,63	<0,0001
Urea Kg/ha*pl/ha		0,07	4	0,02	0,68	0,6173
Error		0,47	18	0,03		
Total		1,82	26			

Las dosis de Urea de 100 y 200 Kg/ha no registraron diferencias, pero si las parcelas testigo con las fertilizadas con 100 Kg/ha. En las que no recibieron aporte de N por fertilización el N° de espigas por planta disminuyó significativamente (*tabla 8*). Entre otras cosas: “La disponibilidad de nutrientes afecta la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos a través de cambios en la **cantidad** y tamaño de órganos vegetativos y reproductivos” Satorre *et al.*, 2003.

Tabla 8 – Efecto de la dosis de Urea sobre el N° de Espigas/pl. a 50 cm de DEH–

Error: 0,0263 gl: 18

Urea Kg/ha	Medias	n	
0,00	1,11	9	A
200,00	1,22	9	A B
100,00	1,37	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

El análisis del N° de espigas generadas por planta según las diferentes densidades, como era de esperar, reflejó que en las densidades más bajas se obtuvo una cantidad mayor de espigas por planta, no marcando diferencias entre 80000 y 60000 pl/ha (*tabla 9*). Tal como lo prouieron Tethio-Kagho y Gardner, (1988); Hashemi-Dezfouli y Herbert, (1992), densidades supra-óptimas ocasionan déficits de recursos en las plantas individuales, las disminuciones en el rendimiento se deben a caídas en el peso y número de granos; la reducción en el número de granos responde al aumento de plantas estériles y a la disminución de granos por espiga.

Tabla 9 – Efecto de la densidad de plantas sobre el N° de Espigas/pl. a 50 cm de DEH–

Error: 0,0263 gl: 18

pl/ha	Medias	n	
80000,00	1,07	9	A
60000,00	1,13	9	A
40000,00	1,50	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Para la DEH: 70 cm solo se encontraron diferencias significativas para la densidad de plantas (*tabla 10*). Como se observa en la *tabla 11*, se logra un mayor N° de Espigas por planta a la densidad de 40000 pl/ha, no encontrándose diferencias entre la densidad media y la densidad alta analizada.

Tabla 10 -Efecto de la densidad y la fertilidad sobre el N° de Espigas/pl. a 70 cm de DEH-

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
70,00	Espigas/pl	27	0,62	0,45	15,18	
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		0,96	8	0,12	3,63	0,0110
Urea Kg/ha		0,14	2	0,07	2,17	0,1433
pl/ha		0,70	2	0,35	10,66	0,0009
Urea Kg/ha*pl/ha		0,11	4	0,03	0,84	0,5194
Error		0,59	18	0,03		
Total		1,55	26			

Tabla 11 – Test LSD Fisher para N° de Espigas/pl. según densidad a 70 cm de DEH –

Error: 0,0330 gl: 18

pl/ha	Medias	n	
80000,00	1,02	9	A
60000,00	1,16	9	A
40000,00	1,41	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

b. Largo de Espiga: Se encontraron diferencias significativas a la DEH de 50 cm para las diferentes densidades, no siendo así para las dosis de urea (*tabla 12*).

Tabla 12 – ANAVA del Largo de Espigas en función de la densidad y dosis de Urea para DEH: 50 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
50,00	Largo Espigas	27	0,50	0,27	9,37

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28,15	8	3,52	2,22	0,0760
Urea Kg/ha	8,69	2	4,34	2,74	0,0912
pl/ha	11,98	2	5,99	3,78	0,0425
Urea Kg/ha*pl/ha	7,48	4	1,87	1,18	0,3525
Error	28,49	18	1,58		
Total	56,64	26			

La *tabla 13* muestra el largo promedio de las espigas según la densidad utilizada a la DEH de 50 cm. Se observa que a menor cantidad de plantas/m² las espigas son de mayor tamaño, seguramente resultado de la mayor disponibilidad de recursos por planta. No habiendo diferencias significativas entre 40000 y 60000 pl/ha. Tethio-Kagho y Gardner, (1988); Hashemi-Dezfouli y Herbert, (1992) propusieron que densidades supraóptimas ocasionan déficits de recursos en las plantas individuales, las disminuciones en el rendimiento se deben a caídas en el peso y número de granos; la reducción en el número de granos responde al aumento de plantas estériles y a la disminución de granos por espiga.

Tabla 13 - Efecto de la densidad sobre el Largo de Espigas para DEH: 50 cm–

Error: 1,5830 gl: 18

pl/ha	Medias	n	
80000,00	12,50	9	A
60000,00	13,79	9	B
40000,00	14,01	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

La respuesta del largo de espiga coincide con la encontrada por Satorre *et al.*, (2003) “la disponibilidad de nutrientes afecta la producción de biomasa y rendimiento con cambios en la cantidad y **tamaño** de los órganos vegetativos y reproductivos; es decir, del tamaño y cantidad de destino de los foto-asimilados”.

Para la DEH de 70 cm se encontraron diferencias significativas en ambas variables, densidad y dosis de Urea (*tabla 14*).

Tabla 14- ANAVA del Largo de Espigas según densidad y dosis de Urea a DEH: 70 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
70,00	Largo Espigas	27	0,82	0,73	5,94	
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		52,31	8	6,54	9,93	<0,0001
Urea Kg/ha		10,05	2	5,03	7,63	0,0040
pl/ha		35,25	2	17,63	26,77	<0,0001
Urea Kg/ha*pl/ha		7,00	4	1,75	2,66	0,0666
Error		11,85	18	0,66		
Total		64,16	26			

Al analizar el largo de espiga según la dosis de Urea se encuentra, como es esperable, que las parcelas testigo no alcanzaron a igualar el largo logrado por aquellas parcelas fertilizadas, sin encontrar diferencias entre ambas dosis de fertilización (*tabla 15*).

Tabla 15 – Test LSD Fisher para Largo de Espiga según dosis de Urea para DEH: 70 cm–

Error: 0,6585 gl: 18			
Urea Kg/ha	Medias	n	
0,00	12,80	9	A
200,00	14,09	9	B
100,00	14,10	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Según la *tabla 16* las parcelas con mayor densidad generaron espigas de menor tamaño. No habiendo diferencias significativas entre los tratamientos de 60000 y 40000 pl/ha.

Tabla 16 - Efecto de la densidad de plantas sobre el largo de la espiga para DEH: 70 cm–

Error: 0,6585 gl: 18			
pl/ha	Medias	n	
80000,00	12,09	9	A
60000,00	14,13	9	B
40000,00	14,77	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

c. **NG/m²**: Se encontraron diferencias significativas a la DEH de 50 cm para las diferentes densidades y también para las dosis de urea (*tabla 17*).

Tabla 17 – ANAVA del NG/m² en función de la densidad y dosis de Urea a DEH: 50 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
50,00	NG/m ²	27	0,64	0,49	18,14
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13786927,19	8	1723365,90	4,09	0,0063
Urea Kg/ha	6770571,19	2	3385285,59	8,03	0,0032
pl/ha	6722357,41	2	3361178,70	7,97	0,0033
Urea Kg/ha*pl/ha	293998,59	4	73499,65	0,17	0,9487
Error	7590706,00	18	421705,89		
Total	21377633,19	26			

Como se evidencia en la *tabla 18* aquellas parcelas con DEH de 50 cm que no fueron fertilizadas generaron un NG/m² menor que aquellas fertilizadas. No se encontraron diferencias significativas al variar la dosis de fertilización por lo que la dosis de 100 Kg/ha de Urea logró el mismo resultado que la de 200 Kg/ha. Este comportamiento se asemeja al reflejado en el Rinde y era esperable ya que el N° de espigas por planta y el largo de espiga también responde de esta manera.

Tabla 18 – Test LSD Fisher para NG/m² en función de la dosis de Urea a DEH: 50 cm–

Urea Kg/ha	Medias	n
0,00	2875,11	9 A
200,00	3876,11	9 B
100,00	3989,56	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

La respuesta del NG/m² en las parcelas con DEH de 50 cm, al variar la densidad también generó diferencias significativas entre los tratamientos. En este caso la alta densidad de plantación logró mayor NG/m², sin encontrar diferencias entre las densidades de 40000 y 60000 pl/ha (*tabla 19*).

Tabla 19 – Test LSD Fisher para NG/m² en función de la densidad de plantas a DEH: 50 cm–

pl/ha	Medias	n
40000,00	3093,22	9 A
60000,00	3381,56	9 A
80000,00	4266,00	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Debemos acotar, para los tratamientos con DEH: 50 cm, que es evidente que el mayor N° de espigas por planta y largo de espiga logrado por las parcelas a baja densidad de plantación, no llegó a compensar la disminución de la densidad, generando en definitiva menor NG/m² que en las parcelas con 80000 pl/ha. Es decir, el aumento de cantidad y tamaño de órganos reproductivos no compensó la disminución de plantas

en forma equivalente; confirmando lo que Edmeades y Daynard, (1979) expusieron: el maíz además de tener poca capacidad de compensación del área foliar, tiene escasa capacidad para diferenciar estructuras reproductivas adicionales frente a densidades subóptimas. Sin embargo, como el rinde no registró diferencias entre los tratamientos con distintas densidades, probablemente otro/s componente/s del rendimiento haya/n compensado la disminución del NG/m² en las parcelas con densidades de siembra bajas.

El ANAVA del NG/m² para el distanciamiento entre hileras de 70 cm no refleja diferencias significativas entre los tratamientos (*tabla 20*). Es decir, las compensaciones en número y tamaño de los órganos reproductivos en las bajas densidades, en las parcelas con DEH: 70 cm si logró compensar la disminución en el stand de plantas, y así generar semejante NG/m². Hay que remarcar que el rendimiento a esta DEH, si es significativamente distinto, para las distintas densidades de siembra, por lo que es posible notar que el NG/m² no fue el componente del rendimiento que originó esas diferencias.

Tabla 20 – ANAVA del NG/m² en función de la densidad y la dosis de urea a DEH: 70 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
70,00	NG/m ²	27	0,20	0,00	14,47		
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		924721,63	8	115590,20	0,57	0,7859	
Urea Kg/ha		193048,07	2	96524,04	0,48	0,6270	
pl/ha		11088,96	2	5544,48	0,03	0,9729	
Urea Kg/ha*pl/ha		720584,59	4	180146,15	0,89	0,4876	
Error		3625635,33	18	201424,19			
Total		4550356,96	26				

d. PMG: El peso de mil granos de los tratamientos evaluados mostró diferencias significativas en función de la dosis de Urea y la densidad de siembra para la DEH de 50 cm. (*tabla 21*).

Tabla 21 – ANAVA del PMG en función de la densidad y dosis de Urea para la DEH: 50 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
50,00	PMG (g)	27	0,46	0,23	9,50		
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		9505,07	8	1188,13	1,95	0,1139	
Urea Kg/ha		4602,92	2	2301,46	3,78	0,0426	
pl/ha		4385,19	2	2192,59	3,60	0,0484	
Urea Kg/ha*pl/ha		516,96	4	129,24	0,21	0,9282	
Error		10962,18	18	609,01			
Total		20467,25	26				

Como era esperable el PMG es mayor cuando más recursos por planta se tienen. En los tratamientos fertilizados con 200 Kg/ha el PMG registrado fue mayor que en los tratamientos testigo. (*tabla 22*).

Tabla 22 – Test LSD Fisher para PMG en función de la dosis de Urea para DEH: 50 cm–

Urea Kg/ha	Medias	n	
0,00	245,02	9	A
100,00	257,20	9	A B
200,00	276,72	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Entonces, tanto el mayor PMG, como el mayor NG/m² logrado en los tratamientos fertilizados son responsables del mayor rinde obtenido en los mismos para la DEH de 50 cm.

De igual forma el PMG es mayor en los tratamientos de menor densidad de plantas (40000 pl/ha), en los que también hay mayor disponibilidad de recursos por planta; sin encontrarse diferencias entre la menor densidad y 60000 pl/ha. (*tabla 23*). Tethio-Kagho y Gardner, (1988); Hashemi-Dezfouli y Herbert, (1992) observaron que densidades supraóptimas ocasionan déficits de recursos en las plantas individuales, las disminuciones en el rendimiento se deben a caídas en el **peso** y en el número de granos.

Tabla 23 – Test LSD Fisher para PMG en función de la densidad para la DEH: 50 cm–

pl/ha	Medias	n	
80000,00	243,29	9	A
60000,00	261,28	9	A B
40000,00	274,38	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Recordando que el rendimiento no varió significativamente en los tratamientos con distinta densidad, pero si lo hizo el NG/m² a favor de las parcelas con mayor densidad de plantas, podemos inferir que el mayor PMG obtenido en las parcelas de menor densidad fue el componente del rendimiento que logró compensar el rendimiento, al disminuir el stand de plantas, de manera significativa.

Para la DEH de 70 cm, también se encontraron diferencias significativas para dosis de Urea y densidad de siembra (*tabla 24*).

Tabla 24 –ANAVA del PMG en función de la densidad y dosis de Urea para la DEH: 70 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
70,00	PMG (g)	27	0,82	0,73	6,16		
	F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor
	Modelo		21204,55	8	2650,57	9,93	<0,0001
	Urea Kg/ha		2709,67	2	1354,83	5,07	0,0179
	pl/ha		18450,03	2	9225,01	34,54	<0,0001
	Urea Kg/ha*pl/ha		44,86	4	11,21	0,04	0,9963
	Error		4806,85	18	267,05		
	Total		26011,41	26			

Las parcelas con fertilización lograron mayor PMG que aquellos tratamientos testigos, sin marcar diferencia entre ambas dosis de fertilización (*tabla 25*).

Tabla 25 – Test LSD Fisher para PMG según dosis de Urea para la DEH: 70 cm –

Urea Kg/ha	Medias	n	
0,00	251,21	9	A
100,00	272,33	9	B
200,00	272,59	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

En cuanto el PMG según la densidad de plantación, también se comporto como era esperable. Aquellos tratamientos con menor densidad produjeron granos con mayor peso, sin encontrar diferencias entre las parcelas con 40000 y 60000 pl/ha (*tabla 26*).

Tabla 26 – Test LSD Fisher para PMG según densidad para la DEH: 70 cm–

pl/ha	Medias	n	
80000,00	229,37	9	A
60000,00	276,14	9	B
40000,00	290,62	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

En el caso del aumento del PMG producido por la densidad de plantación, si tenemos que remarcar que logró aumentar en forma significativa el rendimiento; ya que el otro componente del rinde, NG/m², no varió al modificarse la densidad de siembra, y si lo hizo el rendimiento, siendo mayor en las parcelas de mediana y baja densidad.

e. MS/ha: El rendimiento generado en un cultivo de grano es función de la biomasa total (BT) generada y el índice de cosecha (IC) (Satorre, *et al.* 2003). La biomasa está representada por la MS.

Al observar la MS/ha de los tratamientos con DEH de 50 cm, se encuentra que hay diferencias significativas únicamente al variar la dosis de Urea (*tabla 27*).

Tabla 27 – ANAVA de MS/ha en función de la Densidad y dosis de Urea a DEH: 50 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
50,00	MS/ha (Kg)	27	0,56	0,37	22,23
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	321770930,30	8	40221366,29	2,89	0,0291
Urea Kg/ha	233378011,63	2	116689005,81	8,39	0,0027
pl/ha	79100796,74	2	39550398,37	2,85	0,0844
Urea Kg/ha*pl/ha	9292121,93	4	2323030,48	0,17	0,9523
Error	250215927,33	18	13900884,85		
Total	571986857,63	26			

En estos tratamientos como es esperable se produjo más MS/ha en aquellas parcelas fertilizadas que en las testigo, nuevamente sin encontrar diferencias entre las dosis de 100 y 200 Kg/ha Urea (*tabla 28*). Entre otras cosas: la disponibilidad de nutrientes afecta la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos a través de alteraciones del crecimiento de las hojas y la duración del área foliar de los cultivos (Satorre *et al.*, 2003)

Tabla 28 – Test LSD Fisher para MS/ha en función de la dosis de Urea a DEH: 50 cm–

Urea Kg/ha	Medias	n
0,00	12814,89	9 A
100,00	17659,22	9 B
200,00	19851,78	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En la situación de los tratamientos a 70 cm entre hileras no se encontró diferencias significativas en ninguna variable (*tabla 29*).

Tabla 29 – ANAVA de MS/ha en función de la Densidad y la dosis de Urea a DEH: 70 cm –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70,00	MS/ha (Kg)	27	0,45	0,21	15,24
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80044266,52	8	10005533,31	1,87	0,1279
Urea Kg/ha	24482658,74	2	12241329,37	2,29	0,1297
pl/ha	32652048,07	2	16326024,04	3,06	0,0719
Urea Kg/ha*pl/ha	22909559,70	4	5727389,93	1,07	0,3988
Error	96089001,33	18	5338277,85		
Total	176133267,85	26			

f. **IC:** En los tratamientos con DEH de 50 cm no se observan diferencias significativas para ninguna variable (*tabla 30*).

Tabla 30 – ANAVA de IC en función de la Densidad y dosis de Urea para DEH: 50 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
50,00	IC	27	0,12	0,00	15,94		
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		0,02	8	2,4E-03	0,31	0,9528	
Urea Kg/ha		0,01	2	4,3E-03	0,54	0,5914	
pl/ha		3,2E-03	2	1,6E-03	0,20	0,8207	
Urea Kg/ha*pl/ha		0,01	4	2,0E-03	0,25	0,9078	
Error		0,14	18	0,01			
Total		0,16	26				

Entonces según la ecuación: $BT*IC=Rinde$, y como el IC no se modifica en los distintos tratamientos, las diferencias encontradas en el rinde a la DEH de 50 cm, son exclusivamente función de las modificaciones en la MS/ha generada. Tanto para rendimiento como para MS/ha, los tratamientos fertilizados lograron mayores producciones.

En el análisis del IC registrado para la DEH de 70 cm tampoco se encontraron diferencias significativas (*tabla 31*).

Tabla 31 – ANAVA de IC en función de la Densidad y dosis de Urea para DEH: 70 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
70,00	IC	27	0,29	0,00	8,94		
F.V.		SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo		0,02	8	2,2E-03	0,91	0,5277	
Urea Kg/ha		4,4E-03	2	2,2E-03	0,92	0,4169	
pl/ha		0,01	2	3,1E-03	1,29	0,2987	
Urea Kg/ha*pl/ha		0,01	4	1,7E-03	0,72	0,5894	
Error		0,04	18	2,4E-03			
Total		0,06	26				

En esta situación, se puede decir que la variación en el rinde se debió a la suma de los efectos ocasionados en la producción de MS/ha y en el IC, ya que ambos por separado no registraron diferencias significativas en los distintos tratamientos pero el rinde si lo hizo.

3. Comportamiento del canopeo de un cultivo de maíz al variar la estructura del cultivo:

a. **Temperatura de canopeo en función diferentes densidades, DEH y dosis de Urea:** Según los datos analizados no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos (*tabla 32* y *tabla 33*). Por lo que podemos inferir que la temperatura del canopeo no está influenciada por las modificaciones de la estructura del cultivo dentro de la variabilidad analizada.

Tabla 32 – ANAVA de Temperatura en función de la densidad y dosis de Urea para DEH: 50 cm –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
50,00	T Canopeo	27	0,07	0,00	21,14
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22,97	8	2,87	0,16	0,9933
pl/ha	0,45	2	0,22	0,01	0,9874
Urea Kg/ha	19,80	2	9,90	0,56	0,5783
pl/ha*Urea Kg/ha	2,72	4	0,68	0,04	0,9969
Error	315,63	18	17,54		
Total	338,61	26			

Tabla 33 – ANAVA de Temperatura en función de la densidad y dosis de Urea para DEH: 70 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70,00	T Canopeo	27	0,03	0,00	19,18
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,34	8	0,92	0,06	0,9998
pl/ha	0,23	2	0,12	0,01	0,9921
Urea Kg/ha	6,74	2	3,37	0,23	0,7954
pl/ha*Urea Kg/ha	0,37	4	0,09	0,01	0,9999
Error	261,66	18	14,54		
Total	269,00	26			

Si analizamos el rendimiento en función de la variación de Temperatura, tampoco se encuentra una correlación estadísticamente significativa (Figura 4). Probablemente las diferencias de temperatura en los tratamientos se deban a la nubosidad variable al momento de los registros de los datos y no a la estructura del cultivo.

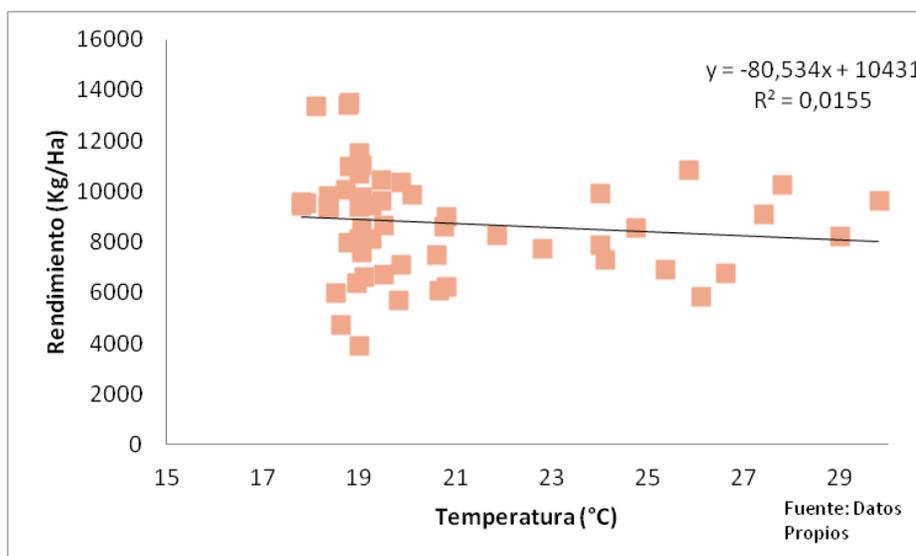


Figura 4 – Rinde en función de la Temperatura –

b. Radiación interceptada por el canopeo en función de diferentes densidades, DEH y dosis de Urea: Al analizar el porcentaje de radiación interceptada por el canopeo en función de los tratamientos para DEH de 50 y 70 cm, (*tabla 34* y *tabla 35*) se encontró diferencias significativas cuando se variaban las densidades de planta por hectárea.

Tabla 34 – ANAVA del % Radiación Interceptada en función de la densidad y dosis de Urea para DEH: 50 cm –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
50,00	% Rad Intercep.	27	0,58	0,40	6,41
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	707,37	8	88,42	3,13	0,0212
Urea Kg/ha	8,60	2	4,30	0,15	0,8599
pl/ha	626,87	2	313,43	11,09	0,0007
Urea Kg/ha*pl/ha	71,89	4	17,97	0,64	0,6435
Error	508,81	18	28,27		
Total	1216,18	26			

Tabla 35 – ANAVA del % Radiación Interceptada en función de la densidad y dosis de Urea para DEH: 70 cm –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70,00	% Rad Intercep.	27	0,59	0,41	4,03
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	257,04	8	32,13	3,27	0,0175
Urea Kg/ha	4,42	2	2,21	0,23	0,8007
pl/ha	241,21	2	120,61	12,28	0,0004
Urea Kg/ha*pl/ha	11,41	4	2,85	0,29	0,8803
Error	176,77	18	9,82		
Total	433,82	26			

La intercepción de radiación por el cultivo es función de la densidad de plantas y del arreglo espacial de estas plantas y sus hojas en el terreno (Willey y Heath, 1969). Al variar la densidad de plantas se observa una correlación positiva con el porcentaje de radiación interceptada. Es así que para DEH: 50 cm, las densidades de 60000 y 80000 pl/ha capturaron significativamente mayor % de la radiación incidente (*tabla 36*).

Tabla 36 -Test LSD Fisher para % Radiación Interceptada en función de la densidad de plantas para DEH: 50 cm–

pl/ha	Medias	n
40000,00	76,66	9 A
60000,00	84,00	9 B
80000,00	88,34	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

A la DEH de 70 cm el comportamiento del canopeo fue similar, encontrando mayor % de intercepción de radiación en los tratamientos de mayor densidad, sin encontrar diferencias significativas entre lograr una plantación de 60000 y una de 80000 pl/ha (*tabla 37*).

Tabla 37–Test LSD Fisher para % Radiación Interceptada en función de la densidad de plantas para DEH: 70 cm –

pl/ha	Medias	n	
40000,00	73,59	9	A
60000,00	79,62	9	B
80000,00	80,21	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Si comparamos los datos obtenidos de radiación interceptada con los rendimientos (Figura 5) se observa una tendencia de pendiente positiva, pero esta no es significativa estadísticamente. Se puede deducir que en la mayoría de los tratamientos al momento de floración se encontraban en cercanía al IAF crítico, de forma que las diferencias de intercepción no influyeron marcadamente en el rinde.

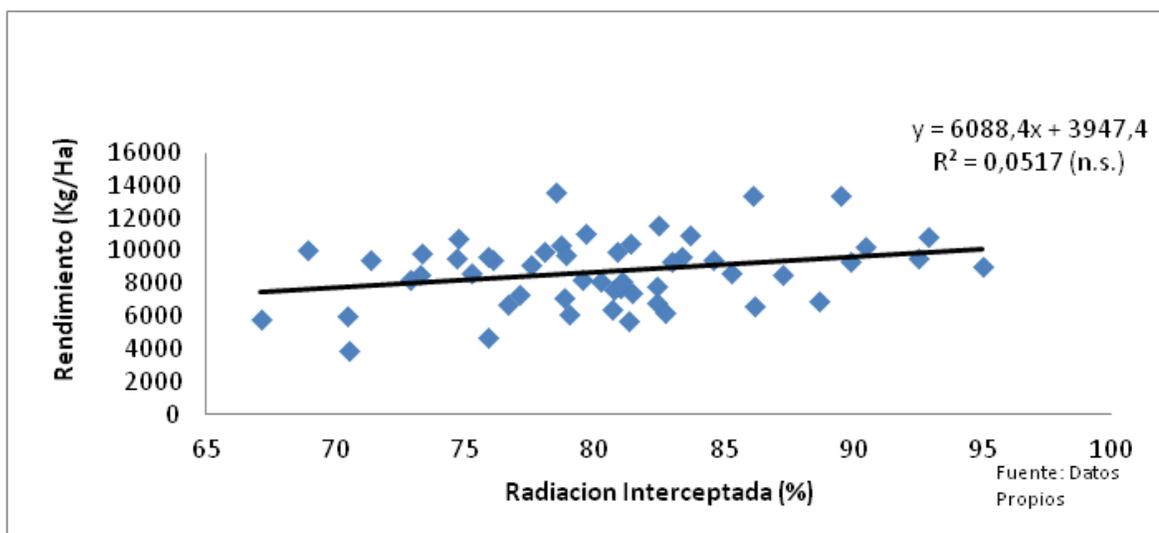


Figura 5 – Rinde en función del % de radiación interceptada–

c. Concentración de N en el canopeo, mediante indicadores de verdor, en función diferentes densidades, DEH y dosis de Urea: Al analizar la variación del valor de SPAD en los tratamientos con DEH de 50 cm, se encontró diferencias significativas entre las parcelas con diferentes dosis de urea (*tabla 39*) y para los de DEH de 70 cm, también hubo diferencias significativas a las distintas dosis de Urea como a las diferentes densidades de plantas por hectáreas (*tabla 40*).

Tabla 39 – ANAVA de índice SPAD en función de de la densidad y dosis de Urea para DEH: 50 cm–

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
50,00	SPAD	27	0,70	0,56	12,37
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1036,59	8	129,57	5,15	0,0019
Urea Kg/ha	844,44	2	422,22	16,78	0,0001
pl/ha	64,49	2	32,25	1,28	0,3018
Urea Kg/ha*pl/ha	127,66	4	31,92	1,27	0,3189
Error	452,99	18	25,17		
Total	1489,58	26			

Tabla 40 – ANAVA de índice de SPAD en función de la densidad y dosis de Urea para DEH: 70 cm –

DEH	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
70,00	SPAD	27	0,75	0,63	10,00
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	868,43	8	108,55	6,65	0,0004
Urea Kg/ha	592,65	2	296,33	18,16	<0,0001
pl/ha	236,70	2	118,35	7,25	0,0049
Urea Kg/ha*pl/ha	39,08	4	9,77	0,60	0,6684
Error	293,75	18	16,32		
Total	1162,18	26			

En la **tabla 41** se observa que efectivamente al fertilizar, para DEH: 50 cm, el índice de verdor aumenta, lo que permite inferir que en el N disponible presente en suelo en los tratamientos testigos es menor que lo que el cultivo es capaz de captar. Lo mismo sucede en los tratamientos con DEH: 70 cm (**tabla 42**). En ambos casos la dosis de 100 Kg/ha de Urea alcanzó para lograr un índice de verdor semejante a la dosis de 200 Kg/ha de Urea, por lo que es evidente que la dosis de 100 Kg/ha es suficiente para suplir los requerimientos de N de la planta.

Tabla 41 – Test LSD Fisher para índice SPAD en función de la dosis de Urea para DEH: 50 cm –

Urea Kg/ha	Medias	n
0,00	32,69	9 A
100,00	43,88	9 B
200,00	45,13	9 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Tabla 42 – Test LSD Fisher para índice SPAD en función de la dosis de Urea para DEH: 70 cm –

Urea Kg/ha	Medias	n	
0,00	33,77	9	A
100,00	43,23	9	B
200,00	44,13	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Para la DEH de 70 cm también hay diferencias significativas al medir el índice de SPAD en función de la densidad de plantas utilizadas. En aquellos tratamientos con bajas y medias densidades de plantas el índice de verdor fue mayor que en los de alta densidad (*tabla 43*). Citando nuevamente a Andrade et al., (1999); Vega et al., 2001 “El efecto de la distribución espacial de las plantas sobre el rendimiento está asociado a la magnitud del déficit o exceso de recursos por planta”. Concluyendo que a menor densidad hay más recursos para cada planta, y esto se refleja en la concentración de N, en los índices de SPAD registrados.

Tabla 43 – Test LSD Fisher para índice SPAD en función de la densidad para DEH: 70 cm–

pl/ha	Medias	n	
80000,00	36,49	9	A
60000,00	40,98	9	B
40000,00	43,67	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

También se encontró una respuesta de pendiente positiva, y estadísticamente significativa, entre el índice de SPAD y el rendimiento (Figura 6).

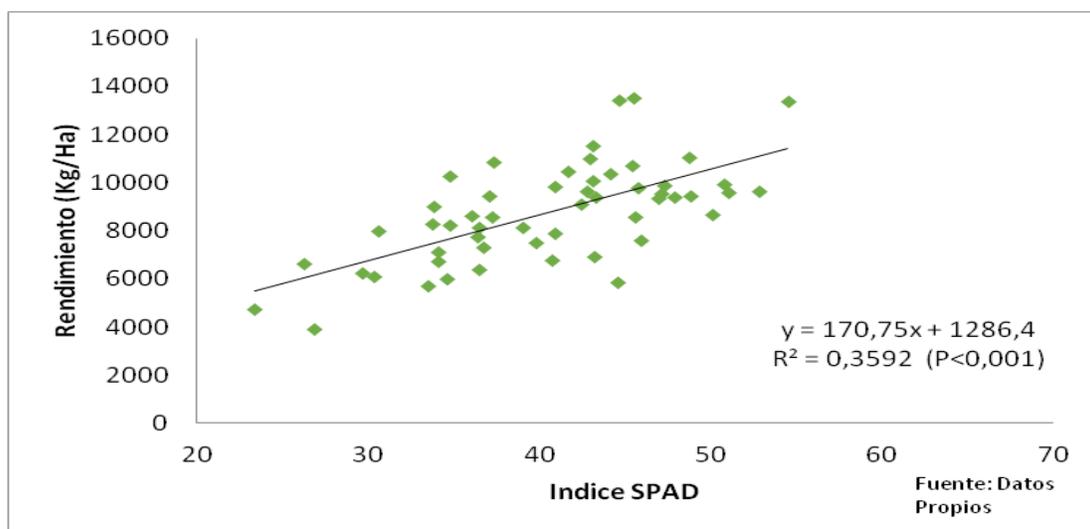


Figura 6 – Rinde en función del Índice SPAD –

CONCLUSIONES

Hipótesis 1: Los beneficios de sembrar a bajas densidades se reflejaron en el mayor rinde obtenido en las siembras a 40000 pl/ha a la DEH de 70 cm; o al definir como densidad óptima, a la DEH de 50 cm, la de 40000 pl/ha por no haber diferencias significativas en el rinde logrado con las otras densidades. También fue evidente que a menor densidad de siembra, mayor fue el N° y tamaño de órganos reproductivos por planta.

Hipótesis 2: No se generó un déficit hídrico cercano a floración, como era esperable que suceda en la región, debido a la presencia de napa durante el crecimiento del cultivo. Por lo que no se pudo comprobar el beneficio de sembrar a una mayor DEH.

Hipótesis 3: se comprobó parcialmente, ya que en los tratamientos con DEH de 50 cm, la fertilización con Urea permitió lograr mayores rendimientos, no siendo así para los tratamientos con DEH de 70 cm, en los cuales el rendimiento no varió al modificarse la dosis de Urea aplicada.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F.; Cirilo A.G.; Uhart S.; Otegui M. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa- EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. 292 pp.
- Andrade F.; Vega C.; Uhart SA.; Cirilo A.G.; Cantarero M.G. 1999. *Kernel number determination in maize*. *Crop Sci.* 39:453-459.
- Andrade F., Calviño P., Cirilo A. y Barbieri P. 2002. *Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception*. *Agronomy Journal*, 94:975-980.
- Casagrande G.A.; G.T. Vergara y F. Babinec. 2014. Probabilidades de las precipitaciones en el área de Santa Rosa, provincia de La Pampa (Argentina). *SEMIÁRIDA Revista de la Fac. de Agron. UNLPam* Vol. 24:31-38.
- Cirilo A.G. 2000. *Distancia entre hileras en maíz*. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol.V Nro. 14, pág. 19-23.
- INFOSTAT, 2011. versión *InfoStat 2011p*. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Edmeades, G.O. y Daynard, T.B.1979. *The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities*. *Canadian Journal of Plant Science*. 59:561-576
- Hashemi-Dezfouli, A. y Herbert, S.J.1992. *Intensifying plant density response of corn with artificial shade*. *Agronomy Journal*. 84:547-557.
- Inventario Integrado de La Pampa. 1980. <http://www.lapampa.edu.ar/recursosnaturales/index2>. Visitada 25/11/2014
- Maddonni G.A.; Otegui ME.; Cirilo AG. 2001. *Plant population density, row spacing, and hybrid effects on maize canopy architecture and light interception*. *Field Crops Res.* 71:183-193.
- Maddonni, G.A. y Otegui, M.E. 2004. *Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plant affects final kernel set*. *Field Crops Research* 85: 1-13
- Nielsen, D. C. y A. D. Halvorson. 1991. Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agron. J.* 83:1065-1070.
- Pimentel Gomes, F. 1978. *Curso de estadística experimental*. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Arg.

- Russell G, PG Jarvis y JL Monteith, 1989. Absorption of radiation by canopies and stand growth. En: Russell G, Marshal B, Jarvis PG, (eds). *Plant Canopies: Their growth, form and function*. Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Sadras, V.O. and D.J. Connor. 1991. *Physiological basis of the response of harvest index to the fraction of water transpired after anthesis: A simple model to estimate harvest index for determinate species*. *Field Crop Res.* 26:227-239.
- Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; De La Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. 2003. *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires. Editorial FA UBA.
- SIIA, 2015. Serie estimaciones agrícolas. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. www.siiia.gov.ar. Visitada 5/07/2015.
- Tethio-Kagho, F. y Gardner, F.P.1988. *Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustments*. *Agronomy Journal.* 80:935-940.
- Varvel, G.E.; J.S. Schepers and D.D Francis. 1997. *Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1233-1239.
- Vega, C.R.C., F.H. Andrade, V.O. Sadras, S.A. Uhart, O.R. Valentinuz. 2001. *Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize*. *Crop Sci* 41:748-754.
- Vega C. R. y Sadras, V. O. 2003. *Size-dependent growth and the development of inequality in maize, sunflower and soybean*. *Annals of Botany* 91(7): 795-805
- Willey,R.W. y Heath, S. B, 1969. *The quantitative relationships between plant population and crop*. *Advances in Agronomy*, 21:281-321