

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTUDIO DE DISTINTAS POBLACIONES Y DOSIS DE NITRÓGENO EN  
MAÍZ BAJO RIEGO

por

Germaine CARTER  
Pablo PETRELLA

TESIS presentada como uno de los  
requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2013

Tesis aprobada por:

Director: .....  
Ing. Agr. Luis Giménez

.....  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

.....  
Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Fecha: 1° de noviembre de 2013

Autor: .....  
Germaine Carter

.....  
Pablo Petrella

## AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor el Ing. Agr. Luis Giménez por guiarnos y apoyarnos en esta etapa.

A la Ing. Agr. Mónica Cadenazzi por la contribución en el análisis de los datos.

A la Lic. Sully Toledo por los aportes en la corrección de los aspectos formales del trabajo.

A nuestras familias Federico, Rosa, Heber, Guille y Fran por su apoyo incondicional en el correr de toda la carrera.

A nuestros amigos y amigas del alma por estar siempre que los necesitamos, especialmente a Soledad que dio el pie inicial a todo esto.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1 GENERALIDADES DEL MAÍZ.....	3
2.1.1 <u>Morfo-fisiología</u> .....	3
2.1.2 <u>Floración</u> .....	4
2.1.3 <u>Llenado de grano</u> .....	5
2.1.4 <u>Factores climáticos</u> .....	6
2.1.5 <u>Adaptabilidad al Uruguay</u> .....	6
2.1.6 <u>Competencia por recursos</u> .....	7
2.2 COMPETENCIA INTRA-ESPECÍFICA.....	8
2.2.1 <u>Población</u> .....	8
2.2.2 <u>Distancia entre hileras</u> .....	11
2.2.3 <u>Distribución</u> .....	12
2.2.4 <u>Adaptabilidad de distintos híbridos</u> .....	13
2.3 NUTRICIÓN.....	14
2.3.1 <u>Generalidades nutricionales del cultivo</u> .....	14
2.3.2 <u>Nitrógeno</u> .....	15
2.4 INTERACCIÓN ENTRE POBLACIÓN Y NITRÓGENO.....	16
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	18
3.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	18
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	18
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
3.4 DETERMINACIONES REALIZADAS.....	20
3.4.1 <u>Determinaciones durante el ciclo del cultivo</u> .....	20
3.4.2 <u>Determinaciones realizadas a cosecha</u> .....	20

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	21
4.1 <u>CONDICIONES CLIMÁTICAS</u> .....	21
4.1.1 <u>Precipitaciones</u> .....	21
4.1.2 <u>Radiación solar</u> .....	22
4.1.3 <u>Temperatura</u> .....	23
4.2 <u>INTERACCIÓN</u> .....	24
4.3 <u>EVOLUCIÓN DE LA MATERIA SECA</u> .....	24
4.4 <u>TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DURANTE EL PERÍODO CRÍTICO</u> .....	26
4.5 <u>RENDIMIENTO</u> .....	28
4.5.1 <u>Componentes del rendimiento</u> .....	30
4.5.1.1 <u>Número de granos por superficie</u> .....	30
4.5.1.2 <u>Peso de granos</u> .....	34
4.5.1.3 <u>Relación entre rendimiento y los componentes                   numéricos</u> .....	35
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	40
6. <u>RESUMEN</u> .....	41
7. <u>SUMMARY</u> .....	42
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	43

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Peso seco (g) por planta promedio para cada población evaluada al finalizar el periodo crítico.....	25
2. Materia seca ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) según dosis de nitrógeno al inicio, final del periodo crítico y a cosecha.....	26
3. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $\text{Kg ha}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) y tasa de crecimiento por planta (TCP, $\text{g pl}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) en el periodo crítico para cada población evaluada.....	27
4. Tasa de crecimiento cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) y tasa de crecimiento por planta ( $\text{gr pl}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) para las distintas dosis de nitrógeno.....	28
5. Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para cada población ensayada.....	28
6. Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para las dos dosis de nitrógeno evaluadas.....	29
7. Número de granos por superficie según población.....	30
8. Número de hileras por espiga, número de granos por hilera y número de granos por espiga para las distintas poblaciones estudiadas.....	31
9. Número de espigas por planta y número de espigas por superficie para las distintas poblaciones.....	32
10. Número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado y número de granos por metro cuadrado según dosis de nitrógeno aplicada.....	34
11. Peso de mil granos (g) según población.....	34
12. Peso de mil granos (g) según dosis de fertilizante.....	35
 Figura No.	
1. Precipitaciones (mm) ocurridas en Paysandú durante octubre a abril del año agrícola 2011-12 y valores promedio para la serie histórica 1961 a 2009 .....	21
2. Radiación solar ( $\text{Mj m}^{-2}\text{ día}^{-1}$ ) ocurrida en Paysandú durante los meses de noviembre a marzo del año agrícola 2011-12 y valores promedio de la serie histórica 2002-12 .....	22

3. Temperatura (°C) ocurrida en Paysandú durante 2011-12 y valores promedio de la serie histórica 1951-2008.....	23
4. Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) para cada población evaluada al inicio del periodo crítico (26/12/11), final del periodo crítico (26/03/12) y a cosecha (01/03/12).....	24
5. Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) en función del número de granos por superficie.....	36
6. Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) en función del peso de mil semillas.....	37
7. Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) en función del número de espigas por planta (Número de espigas planta).....	38

## 1. INTRODUCCIÓN

En la última década la agricultura en el país ha crecido significativamente tanto en superficie como en volumen producido. Actualmente los cultivos de verano presentan mayor superficie sembrada que los de invierno, y el maíz se posiciona como el segundo cultivo de verano realizado en secano en relación a área sembrada (MGAP. DIEA, 2012).

En los últimos años la agricultura, fundamentalmente los cultivos de verano, ha tenido grandes avances en lo que respecta a incorporación de nuevas tecnologías como lo son, los nuevos híbridos, ajustes en las fertilizaciones, etc. (Giménez, 2012).

En lo que respecta al maíz, el agua es una de las limitantes de mayor importancia para la producción. Para lograr una buena germinación la semilla debe absorber un 30 a 40% de su peso en agua, dicha imbibición, previa a la germinación, se logra mediante el contacto de la semilla con el suelo. De aquí en adelante, durante todas las etapas del ciclo del cultivo la disponibilidad de agua es fundamental para lograr buenos rendimientos en grano (Satorre et al., 2006).

En situaciones de deficiencia hídrica, nutricional o lumínica se puede provocar un retraso en la floración femenina en relación a la masculina generando pérdidas en el rendimiento en grano. En relación a los nutrientes, el nitrógeno es uno de los más importantes en los procesos que determinan el rendimiento de maíz, éste se encuentra estrechamente vinculado con el mantenimiento y desarrollo de la fotosíntesis de la planta a través de la modulación de la tasa de expansión foliar, su actividad y duración de las hojas. También afecta el número de granos a través de reducciones en el número de abortos. Por lo tanto la aplicación de agua por riego y la aplicación correcta de nutrientes en los sistemas de producción satisfacen estas demandas, levantando de esta forma algunas de las principales limitantes para alcanzar el rendimiento potencial (Uhart y Andrade, 1995).

Al igual que en la mayoría de los cultivos, en maíz existe una estrecha relación entre el rendimiento y la producción de biomasa aérea, la cual depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopeo. La eficiencia de uso de esta radiación (EUR), sin embargo, puede variar con la temperatura y la etapa del ciclo considerada. La utilización de nuevos híbridos en producciones comerciales ha incorporado variabilidad con respecto al manejo, ya que los mismos responden distinto frente a una misma condición ambiental. Estas modificaciones, impuestas por la variación en el ambiente, disponibilidad de recursos o tipo de híbrido utilizado, pueden

ser compensadas a través del ajuste correcto en la densidad de plantas y la uniformidad de siembra (Satorre et al., 2006).

El propósito del presente trabajo es determinar el rendimiento en grano de distintas poblaciones de maíz en condiciones hídricas no restrictivas con riego suplementario, para poder determinar si este difiere al cambiar las poblaciones, y en dicho caso cómo evoluciona el mismo para encontrar dentro de este rango la población óptima. También se busca la mejor fertilización para las dos dosis de fertilización nitrogenada aplicadas, 150 kg ha<sup>-1</sup> y 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno. Para realizar este estudio se midió la materia seca (MS), su evolución, el rendimiento y sus componentes.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GENERALIDADES DEL MAÍZ

#### 2.1.1 Morfo-fisiología

El maíz presenta una fisiología favorable en lo que refiere a la eficiencia de conversión de CO<sub>2</sub> atmosférico a compuestos orgánicos como los carbohidratos, esta gran eficiencia de transformación de energía luminosa en energía química, se debe a que la especie pertenece al tipo fotosintético C4. Además de la alta eficiencia de producción de biomasa tiene la capacidad de transformar más de la mitad de su biomasa en grano (Giménez, 2001). El rendimiento en grano/ha está altamente correlacionado con la producción por unidad de área foliar y por unidad de energía interceptada (Fassio et al., 1998).

El crecimiento del cultivo de maíz es determinado, esto genera escasa plasticidad y baja estabilidad en producción de granos ante una situación de estrés en floración (Andrade et al., 2000).

El sistema radicular de la planta de maíz está constituido por raíces adventicias primarias y laterales, las mismas pueden tener hasta tres metros de largo aunque con un hábito superficial de enraizamiento, llegando hasta treinta centímetros de profundidad aproximadamente dependiendo de las condiciones edáficas en las cuales se encuentra el cultivo, como por ejemplo pH, grado de compactación y tenor de humedad del suelo. Estas características aportan a la reducida tolerancia del maíz ante un estrés hídrico. Los tallos del mismo son cilíndricos, de tres a cuatro centímetros de diámetro, los entrenudos son cortos en la parte basal y se alargan hacia la parte superior terminando en la inflorescencia masculina. Las hojas son lanceoladas y se insertan en el tallo de forma alterna. El maíz presenta una canopia erecta que se inserta en un único tallo, si bien existen cultivares que tienen la capacidad de macollar, la misma se expresa en baja medida. Los granos están adheridos a un eje rígido denominado marlo, estos completan su desarrollo 50 a 60 días posteriores a la fecundación y se encuentran protegidos por hojas modificadas (Giménez, 2001).

### 2.1.2 Floración

El maíz es una planta monoica diclina, es decir que ambos sexos se encuentran en la misma planta pero en diferentes estructuras. La condición de monoica promueve la fecundación cruzada y permite la especialización de las inflorescencias, ubicándose la masculina en la parte superior de la planta, mientras que la femenina se inserta más abajo en el tallo (Giménez, 2001).

La etapa de floración es crítica en la determinación tanto del número de espigas por planta como en el número de granos por espiga, factores que se determinaran por el crecimiento del cultivo entorno a esta etapa. El número final de espigas por planta se asocia a la tasa de crecimiento de la planta en prefloración y floración, mientras que el número de granos por espiga se determina en la etapa de pos floración (Andrade et al., 1996).

Otegui et al. (1998) encontró relación significativa entre el número de granos y la radiación fotosintéticamente activa interceptada (IPAR) por planta durante el período crítico del cultivo, así como una diferencia significativa entre el grupo de híbridos prolíficos y el grupo de híbridos no prolíficos. En el mismo experimento se observó que en la etapa de prefloración se determina el número potencial de granos y la fijación de estos va a depender de las condiciones que presente el cultivo en posfloración.

El rendimiento en grano del maíz se puede interpretar como el producto de sus componentes principales, el número de granos por unidad de superficie y el peso de los mismos. El primero de éstos explica el 70% del rendimiento y está determinado como ya fue mencionado por la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el entorno a la floración, principalmente en la etapa previa y durante la misma. Por lo tanto condiciones favorables durante este período crítico del crecimiento del maíz son fundamentales para alcanzar buenos rendimientos del cultivo (Otegui, 2010).

La planta de maíz presenta umbrales de crecimiento críticos alrededor de la floración dependiendo de la prolificidad del híbrido. En un híbrido no prolífico, tasas de crecimiento por planta menores a  $1 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  no producen granos, en cambio con tasas mayores a  $7 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-2}$  se presenta prolificidad (Andrade et al., 1996), en cambio para híbridos prolíficos el umbral para formar una segunda mazorca es de  $4 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-2}$  (Vega, citado por Andrade, 2000). La prolificidad es un componente altamente elástico en el rendimiento, resultando en una mayor estabilidad de la mazorca apical lo que es significativo para la producción total por planta (Sarquis et al., 1998).

### 2.1.3 Llenado de grano

Como ya fue mencionado el peso del grano es uno de los componentes fundamentales del rendimiento final del cultivo, éste afecta el mismo en un 30% aproximadamente y está directamente relacionado con la capacidad fotosintética que la planta presenta a partir de R2 (escala de Ritchie y Hanway, citados por Mazzilli<sup>1</sup>, Otegui 2010).

Según experimentos realizados por Andrade et al. (2000) el período efectivo de llenado de grano es en general menos susceptible frente a reducciones en la fuente que en el período de floración, lo que estaría determinando a este último como el momento más crítico del cultivo. La temperatura en este período juega un rol importante ya que la tasa de crecimiento del grano es función directa de la misma, es decir a mayor temperatura mayor es la tasa de crecimiento, en cambio ocurre lo contrario con la duración de la etapa, ya que ésta es función inversa de la temperatura, por lo que temperaturas altas durante el llenado de grano traerían aparejado un acortamiento de este período y por lo tanto una disminución del peso del grano.

También puede disminuir el peso del grano por no generar la cantidad suficiente de asimilados en este período, esto puede ocurrir bajo buenas condiciones hídricas ya sea en cultivo de secano, como cultivos bajo riego, los cuales en la etapa de floración logran fijar un número elevado de granos que van a demandar mayor fuente en el periodo de llenado de grano (Cirilo, 2001).

En el experimento de Espinosa Trujillo et al. (2004) donde se investigaron tres genotipos de maíz, bajo dos densidades de siembra (30000 y 65000 pl.ha<sup>-1</sup>) se encontró que al aumentar la densidad aumenta el rendimiento en granos totales por hectárea y también la contribución de la mazorca primaria, medida como porcentaje de éste, mientras que la contribución de la mazorca secundaria disminuyó.

El número de inflorescencias femeninas y número de mazorcas por planta fue mayor para la menor densidad (30000 pl.ha<sup>-1</sup>), existiendo diferencia entre estos valores para las dos densidades, esto indica que en ambas hubieron inflorescencias que se reprimieron después de exponer sus estigmas, es decir que no desarrollaron grano. La mazorca primaria no redujo su rendimiento en grano (medido como peso del total de los granos de esta mazorca) al aumentar la densidad de siembra, mientras que en la secundaria disminuyó el rendimiento en grano y todos sus componentes. En términos generales en este experimento la mazorca primaria tuvo una contribución del 70% al rendimiento por hectárea mientras que la secundaria contribuyó en un 30%.

---

<sup>1</sup> Mazzilli, S. 2012. Curso de Fisiología de Cultivos (sin publicar).

#### 2.1.4 Factores climáticos

En cuanto a la temperatura si bien el maíz es originario de zonas tropicales, la temperatura óptima para su crecimiento es entre 24° C y 30° C. En la fase vegetativa la diferenciación foliar tiene una respuesta lineal y positiva en el rango térmico entre 8 °C y 30° C, por lo tanto ésta va a tener una gran influencia en el número final de hojas y en la velocidad de aparición de las mismas. Cuando se genera un déficit hídrico en la etapa crítica del cultivo (entorno a floración), se reduce la conversión de biomasa y la partición de materia seca a la espiga, aumentando así el aborto de estructuras reproductivas y por lo tanto menor producción de granos (Fassio et al., 1998).

Ruiz et al. (2002) utilizan tres métodos para determinar la temperatura base (Tb), la temperatura óptima (To) y la temperatura crítica (Tc) en dos etapas del cultivo de maíz, siembra-floración (SF) y floración-madurez fisiológica (FMF). La To para SF es de 24.3°C y de 25.7°C para FMF, la Tb es de 9.4°C para SF y de 10.2°C para FMF y la Tc de 28.8°C para SF y 30.2°C.

Cuando el contenido hídrico del suelo se encuentra por debajo del 40-60% de la fracción de agua disponible para el cultivo, se ve reducido el consumo de agua y en consecuencia el crecimiento de la planta (Andrade et al., 1996).

En un estudio realizado por Asafu-Agyei (1986) donde se sembraron en varias localidades distintas densidades de maíz, se encontró que en aquellas localidades donde la lluvia fue menor los rendimientos también bajaron, siendo ésta una limitante para el mismo.

#### 2.1.5 Adaptabilidad al Uruguay

En 1980 los rendimientos de maíz se encontraban en el entorno a los 1200 kg ha<sup>-1</sup>, en la última década tras la implementación de nuevas tecnologías como la incorporación de siembra directa, siembra de precisión, control de malezas, plagas y enfermedades, así como la utilización de híbridos prolíficos y en algunos casos la aplicación de sistemas de riego se ha generado un aumento más que significativo comparado con los rendimientos de 1980.

En los últimos años el Uruguay viene incrementando notoriamente la superficie de maíz sembrada, siendo esta última zafra el séptimo año consecutivo que se percibe este incremento. El cultivo paso de ocupar 60.600 ha en la zafra 2004/2005 a 128.600 ha en la zafra del 2011/2012, siendo 82600 ha de primera y las 46000 ha restantes de

segunda, lo cual lo consolida como el segundo cultivo de verano en importancia. Sin embargo, y a pesar de la reciente incorporación de cambios tecnológicos, el rendimiento de grano por hectárea no se ha modificado de forma significativa, quedando estancado en 4482 kg ha<sup>-1</sup> promedio en estos últimos años (MGAP. DIEA, 2012).

Como ya fue mencionado anteriormente el agua es una de las grandes limitantes que tiene la producción de maíz, y cuando la oferta de ésta no se adapta a las necesidades del cultivo en las diferentes etapas de desarrollo los rendimientos disminuyen su potencial. En Uruguay se determinó un rendimiento potencial de maíz bajo riego para años sin condiciones extremas de 15 t ha<sup>-1</sup> aproximadamente (Giménez, 2012). Estos resultados indican que la disminución del rendimiento potencial varió entre 40 y 53% cuando existen condiciones de restricción hídrica.

Hoy en día es conocida la densidad de siembra óptima para el maíz de secano bajo las condiciones climáticas del Uruguay, ésta se encuentra en el entorno de las 60000 plantas/ha, pero poco se sabe sobre la densidad de maíz bajo condiciones de riego<sup>2</sup>.

#### 2.1.6 Competencia por recursos

La planta de maíz ve afectado su rendimiento cuando la misma está en competencia con otras plantas, Rossini (2006) realizó un estudio bajo condiciones de estrés nutricional (nitrógeno) y densidades altas y en el mismo encontró una disminución en la biomasa por planta en etapas avanzadas (V8) del cultivo.

Luque et al. (2005) realizaron un estudio en el cual demuestran la ganancia genética de los híbridos con relación a características fisiológicas en cuanto al rendimiento de grano. En el mismo se utilizaron 7 híbridos de maíz, a los cuales se los sometió a densidades en dos épocas contrastantes, la ganancia genética estuvo relacionada principalmente a un aumento en el número de granos, asociado a una mayor producción de biomasa en posfloración. La diferencia entre híbridos se da al comienzo de la etapa crítica del maíz, aumentando la tasa de crecimiento de la planta utilizando las densidades cercanas al óptimo.

---

<sup>2</sup> Gimenez, L. 2013. Com. personal.

## 2.2 COMPETENCIA INTRA-ESPECÍFICA

### 2.2.1 Población

El cultivo de maíz presenta pocos mecanismos de compensación para suprimir el efecto de disminuciones en la cantidad de recursos por planta debido a modificaciones en la densidad de población (Andrade et al., 1996). Con altas densidades la disminución de la tasa de crecimiento por planta (TCP) genera reducciones en el número de granos fijados por planta y por lo tanto una baja en el rendimiento. La espiga al estar en una posición axilar se ve menos favorecida en cuanto a la partición de asimilados, es por esto que requiere altas tasas de crecimiento por planta en el período crítico del cultivo para poder fijar granos. Por otro lado, cuando las densidades son bajas el cultivo no logra alcanzar el IAF necesario para captar la radiación solar (RS) de forma óptima. Por esto, tanto reducciones como aumentos en la densidad de plantas en maíz, generan modificaciones importantes en el rendimiento de grano.

Berzsenyi y Tokatlidis (2012) durante 11 años llevaron a cabo un estudio de densidad y fertilización de maíz en condiciones de secano, en el cual utilizaron distintas densidades de siembra (3, 5, 7 y 9 pl. /m<sup>2</sup>) y diferentes niveles de nitrógeno (0, 100, 200 y 300), con 4 híbridos de maíz de distinto largo de ciclo (corto, medio, largo). Los rendimientos de los mismos estuvieron asociados a las condiciones climáticas de cada año, se vio favorecido en años secos con una menor densidad de plantas y en años húmedos con una mayor densidad en términos generales. En este trabajo se incorpora un concepto poco conocido que es el de híbridos independientes de la densidad, característica que aparece en un híbrido de ciclo largo. Este híbrido presenta un amplio rango de densidades óptimas, lo que permite en situaciones de baja precipitaciones (PP) utilizar densidades más bajas y tener un buen aprovechamiento de las PP ocasionales, lo que disminuye la pérdida del potencial de rendimiento.

La respuesta del maíz frente a los cambios en la densidad es curvilínea, es decir que a medida que aumenta la densidad el rendimiento aumenta hasta un óptimo a partir del cual comienza a disminuir. Esta densidad óptima para los híbridos modernos es cada vez mayor y a su vez diferente para cada híbrido (Sangoi et al., 2002).

En un experimento realizado por Espinosa Trujillo et al. (2004) donde se estudiaron diferentes variedades de maíz con dos densidades de población (30000 y 65000 plantas/ha), se encontraron diferencias significativas para longitud de mazorca, peso de cien granos de ambas mazorcas, diámetro, número de granos por hilera y número de granos por mazorca. Por otro lado, el número de hileras fue el más constante en las distintas densidades. El incremento de la población de 30000 a 65000 plantas/ha

disminuyó en un 17% el número de mazorcas por planta. La mazorca primaria disminuyó en peso de mil granos, mientras que en la secundaria se redujo el rendimiento del grano y la expresión de sus componentes. Pero en términos generales para este experimento, al aumentar la densidad de plantas se incrementó el rendimiento en grano por superficie.

De León et al. (1977) en un experimento realizado al sur de Uruguay en el cual estudió tres densidades de maíz bajo riego, encontró que al aumentar la densidad de 65000 a 101000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  hubo un incremento en el rendimiento de 8676 a 10551  $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  lo que significa un incremento de 26%.

Por su parte Giménez (2000) evaluó para un híbrido no prolífico distintas poblaciones con distintos niveles de fertilización, los tratamientos estuvieron sometido a riego suplementario y los rendimientos más altos se obtuvieron con la población más alta del ensayo (120000  $\text{pl} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) y cuando se utilizó la dosis de fertilizante más elevada (200 UN/ha).

Además de existir variación dentro de los materiales genéticos al cambiar las densidades, en un experimento realizado por Sarlangue et al. (2007) se encontró que el incremento en el rendimiento por el aumento en la densidad estuvo más asociado con la producción de biomasa que con el incremento en el índice de cosecha.

Hashemi et al. (2005) evaluaron tres híbridos no prolíficos de maíz a distintas densidades de siembra (0.25, 3, 4.5, 6, 9 y 12  $\text{pl} \cdot \text{m}^{-2}$ ) sin riego y encontraron que el mayor rendimiento por superficie se obtuvo con poblaciones de 9  $\text{pl} \cdot \text{m}^{-2}$ , mientras que la mayor cantidad de biomasa acumulada se encontró entre las poblaciones de 9 y 12  $\text{pl} \cdot \text{m}^{-2}$ . En cuanto al rendimiento en grano por planta, se detectó una disminución del mismo al aumentar la densidad de las mismas.

En una investigación realizada entre 1965 y 1993 se estudió la respuesta en el número de granos de maíz a distintas densidades de plantas (3-5 a 15-18  $\text{pl} \cdot \text{m}^{-2}$ ) de cuatro híbridos. Las hipótesis del trabajo fueron que los híbridos modernos producen más granos por (a) una mayor tasa crecimiento de la planta alrededor de floración (TCP) o (b) más granos por unidad de TCP que los híbridos más antiguos. Para determinar el crecimiento por planta entorno a floración, se tomó muestras de materia seca 10 días antes y 15 días después de floración. El rendimiento en grano de los híbridos viejos fue en promedio de 7.7  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , la respuesta del rendimiento de grano a la densidad de planta fue curvilínea. Tanto la TCP como el número de grano por planta (NGP) decrecen al aumentar la densidad de plantas en los cuatros híbridos probados, si bien la variación en la TCP entre híbridos fue baja, la diferencia para híbridos viejos fue de 93 y 113 granos por unidad de TCP para bajas y altas densidades respectivamente, mientras que para los híbridos más nuevos las mismas fueron de 167 y 193 para baja y alta densidad

respectivamente. La conclusión fue que el número de granos por unidad de TCP tiene mayor importancia que la TCP en sí misma, es decir que esta característica debería tener mayor importancia al momento de realizar un mejoramiento de potencial de rendimiento (Echarte et al., 2000).

Existen experimentos en el cual se demuestra que los componentes del rendimiento que se ven más afectados por variación en la densidad de plantas son el número de granos fijados por espiga y el número de granos por hilera seguidos por el número de espigas por planta (Tetio-Kagho y Gardner, 1988).

Con la incorporación de mejoras tecnológicas como nuevos híbridos, mayor resistencia a plagas, mejor control de malezas y enfermedades, mayores niveles de fertilización entre otras, las densidades óptimas han aumentado ya que el rango óptimo de población va a depender del ambiente y del híbrido utilizado (Uhart, 2010).

En cuanto a los híbridos prolíficos, estos presentan mayor estabilidad en el rendimiento frente a disminuciones en la densidad de plantas (Prior y Russell, 1975), como así también frente a incrementos en la densidad, explicados por el número de granos de la espiga superior, junto con la capacidad de perder la segunda espiga (Andrade et al., 1996).

Un trabajo realizado por Otegui (1997) utilizó dos sitios experimentales, en uno de ellos se midió el efecto de la densidad de plantas (5 y 9 pl. m<sup>-2</sup>) en la diferenciación floral y fijación de granos, utilizando dos híbridos con prolificidad contrastantes. En el otro sitio se midió la variación que presenta la fijación de granos utilizando tres densidades (2, 8 y 16 pl.m<sup>-2</sup>) con tratamientos de raleos de 16 y 2 pl. m<sup>-2</sup>. En el tratamiento de 9 pl. m<sup>-2</sup> se retrasó la diferenciación floral en la mazorca apical, pero todas las espiguillas comenzaron la elongación floral, en cuanto a la mazorca sub apical el 17% y el 19% de las espiguillas de los híbridos no prolíficos y prolíficos respectivamente no completaron su desarrollo a floración. Por otro lado para la población de 5 pl.m<sup>-2</sup> la reducción fue de 6%. La diferencia se encontró en la longitud de la mazorca apical, resultando en una reducción de la biomasa de la mazorca a floración a altas densidades. El número de granos no estuvo relacionado con el grado de diferenciación floral alcanzado en floración. Limitaciones de crecimiento prefloración reducen la fuerza de fosa de la mazorca.

López et al. (2004) observaron reducciones del peso individual de grano cercanas al 8% cuando aumentó la densidad de plantas utilizando materiales prolíficos.

Vallone et al. (2011) utilizando el material genético DK 692 MG RR estudió distintas densidades (50000, 65000, 80000, 95000, 110000 pl.ha<sup>-1</sup>) sin riego y encontró diferencias significativas entre la población de 50000 pl.ha<sup>-1</sup> con respecto a las demás

poblaciones utilizadas, siendo la población más baja la que produjo el menor rendimiento del experimento. La respuesta en este experimento fue cuadrática, las densidades mayores tuvieron los mayores rendimientos no diferenciándose entre ellos.

En un estudio realizado por El-Hendawy et al. (2008) en el que se utilizaron tres niveles de riego (1.00, 0.80, 0.60 de la evapotranspiración estimada) con tres densidades de población (48000, 71000, 95000 plantas por hectárea) se encontró que el rendimientos en grano, componentes del rendimiento y eficiencia de uso de agua aumentaban en la medida que el nivel de irrigación era mayor y la densidad poblacional menor, se encontraron los mejores valores con tres combinaciones, el mayor nivel de riego y las dos poblaciones más bajas y con 0.80 de la evapotranspiración en combinación con la densidad más baja.

En otro experimento en donde también se trabajó con riego, en este caso sin restricción hídrica, se evaluaron tres híbridos con distinto largo de ciclo (tardío, semi-tardío e intermedio), bajo cuatro densidades de población (55000, 75000, 95000, 115000 pl. ha<sup>-1</sup>) y se encontró que la mayor tasa de crecimiento del cultivo y rendimiento en grano se dio en la población de 95000 plantas/ hectárea (Aguilar y López-Bellido, 1996).

Al-Kaisi e Yin en 2003 realizaron un experimento en donde evaluaron tres niveles de riego (0.60, 0.80 y 1.00 de la evapotranspiración estimada) , con cuatro dosis de fertilización nitrogenada (30, 140, 250 y 360 Kg de N/ha) y tres densidades de siembra (57000, 69000 y 81000 plantas/ha) , en este encontraron que los mejores rendimientos en grano se daban con los dos niveles de riego más altos en combinación con dosis de fertilización nitrogenada de 140 a 250 Kg de nitrógeno y las dos densidades menores, es decir de 57000 hasta 69000 plantas por hectárea.

En un experimento donde se evaluaron tres volúmenes de riego (55, 75, 100, 125 % del total de agua requerida, la cual fue calculada por el método de Penman–Monteith y el coeficiente del cultivo) y tres densidades de población (60000, 70000 y 80000 plantas por hectárea) con dos distribuciones distintas (una hilera a cierta distancia y las dos siguientes a otra), la única diferencia encontrada fue que al modificar el volumen de riego, mientras que ni la densidad de población ni la distribución de la misma influyeron significativamente en el rendimiento (Jamshidi et al., 2012).

### 2.2.2 Distancia entre hileras

Soltero et al. (2010) midió el efecto de dos distancias entre hileras (0.50 y 0.70 m) con distintas densidades y encontraron que los mayores rendimientos se daban con 90000 pl.ha<sup>-1</sup> y 0.50 m de distancia entre hileras.

Por otro lado, en un experimento realizado en Argentina, con un híbrido de maíz DK 692 MG RR, al modificar la distancia entre hileras (0.52 y 0.70m) no se encontró diferencias en el rendimiento final (Vallone et al., 2011).

Cirilo (2001) encontró diferencias en el rendimiento, siendo este menor cuando disminuyó la distancia entre hileras (0.70 m a 0.50 m), dado por un menor crecimiento en la etapa reproductiva del cultivo cuando se encuentran a una distancia de 0.50 m, bajo un esperable aumento en el número de granos por mayor captura de luz en surcos angostos, el crecimiento posterior del mismo no alcanzaría para el llenado de esta mayor cantidad de granos.

Por otro lado, en sistemas de altas producciones donde se recomiendan utilizar densidades más altas, la reducción de la distancia entre hileras puede disminuir el rendimiento de grano por generar una disminución en la producción fotosintética al presentar un menor ambiente lumínico en el estrato inferior del canopeo activo (Cirilo, 2005).

La distancia entre hileras óptima va a depender de los recursos que tenga el cultivo y las características del híbrido utilizado. En condiciones de restricciones hídricas es conveniente utilizar mayores distancias entre hileras, pero cuando el agua no se presenta como una limitante el efecto de los surcos estrechos resulta positivo (Uhart, 2010).

### 2.2.3 Distribución

Como ya fue mencionado la planta de maíz ve afectado su rendimiento cuando se encuentra en competencia. En estudios realizados por Liu et al. (2004), no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento del maíz al modificar la uniformidad dentro de la fila. Tampoco hubo diferencias en la acumulación de materia seca, altura de la planta, índice de cosecha y número de hojas.

Según Uhart (2011) una mala distribución espacial de las plantas disminuye los recursos para aquellas plantas que se encuentran en mayor competencia, mientras que aumentan los mismos para aquellos individuos en los cuales la competencia por planta es menor.

Para reafirmar este concepto, un estudio realizado por Gargicevich et al. (2005) encontró una disminución significativa en la producción de granos en aquellas plantas que se encontraban en mayor competencia, el cual fue cuantificado en un 22% menos de

granos, para un 10% de episodios de ocurrencia a nivel comercial de plantas en alta competencia.

La desuniformidad espacial aumenta la competencia entre individuos de la población en aquellos que quedan muy cercanos y la disminuye en plantas que quedan más aisladas modificando la tasa de crecimiento por planta (TCP), dependiendo de la cantidad de individuos por unidad de superficie y de la disponibilidad de recursos por planta. Es así que existe la hipótesis que tratamientos de baja densidad, con recursos no limitantes no provocarían diferencias en la TCP, en cambio tratamientos de alta densidad si modificarían el crecimiento y la TCP de la población (Olmos et al., 2005).

#### 2.2.4 Adaptabilidad de distintos híbridos

En un experimento donde se evaluaron cuatro híbridos, en distintos ambientes y bajo diferentes densidades de población (40000, 60000, 80000 pl ha<sup>-1</sup> aprox.) se encontró que en un año con buena disponibilidad hídrica el mejor rendimiento para los maíces con alta y baja plasticidad no prolíficos y para los semi prolíficos fue en las poblaciones de 80000 pl. ha<sup>-1</sup>, mientras que para los prolíficos el mayor rendimiento se encontró en las poblaciones de 60000 pl. ha<sup>-1</sup>. Para un año seco y más caluroso todos los híbridos tuvieron mejor rendimiento con 60000 pl. ha<sup>-1</sup>. (Thomison y Jordan, 1995).

Otegui et al. (1997) llevaron a cabo dos experimentos para determinar el desarrollo floral y el número final de granos de híbridos de maíz con distinta prolificidad, en uno de los experimentos se siembran 4 híbridos en ocho épocas de siembra diferentes a una densidad de 8 pl. m<sup>-2</sup>, en el otro experimento se utilizan dos híbridos (prolífico y no prolífico), los cuales se siembran a 7 pl. m<sup>2</sup> en tres fechas distintas. Los resultados de los mismos muestran que no existe efecto en la época de siembra en cuanto al número de espiguillas por mazorca, número de hileras por mazorca o número de espiguillas por hileras, pero si hubo diferencia de estos caracteres entre híbridos. Ambos híbridos prolífico y no prolífico presentaban casi todas las espiguillas en la hilera de la mazorca apical una vez completo el desarrollo floral, pero el híbrido prolífico mostró menos abortos de espiguillas en la mazorca apical y un desarrollo más sincronizado entre espigas. El número de granos se relaciona con el crecimiento de la mazorca alrededor de floración, la partición de asimilados a la mazorca en el periodo de floración es crítico para la fijación de granos.

En un estudio realizado por Durieux et al. (1993) se evaluó la respuesta de distintos híbridos (dos de ellos prolíficos y un tercero no prolífico) de maíz con tres fertilizaciones de nitrógeno (56, 140, 224 Kg/ ha de N) a bajas densidades de población, se encontró que los tres híbridos tuvieron una respuesta positiva frente a las crecientes dosis de nitrógeno. Uno de los híbridos prolíficos presentó un mayor rendimiento

potencial, este incremento en el rendimiento fue explicado por el aumento de mazorcas sub apicales y un mayor peso de la mazorca apical y sub apical.

Tokatlidis et al. (2005) compararon híbridos reciclados (independientes de la densidad de siembra, seleccionados a partir de la generación F2 del híbrido PR 3183, basándose en la performance, utilizando para la selección densidades muy bajas y resultando en híbridos con alto rendimiento potencial) con sus originales (PR 3183) y un testigo (B73 x Mo17), sembrando en dos localidades y utilizando tres densidades de siembra distintas (25000, 41677 y 83333 pl. ha<sup>-1</sup>), se encontró que a medida que disminuía la densidad de siembra los rendimientos bajaban para los tres materiales genéticos, pero en menor medida para los híbridos reciclados que para los otros dos. El número de macollos, la prolificidad y el número de mazorcas aumentó en todos los casos al disminuir la densidad, pero en mayor medida para los híbridos reciclados, esto explicaría la mayor compensación de estos híbridos al disminuir la densidad de siembra y su independencia a la misma.

## 2.3 NUTRICIÓN

### 2.3.1 Generalidades nutricionales del cultivo

En lo que refiere a la nutrición mineral, los dos nutrientes más limitantes en cultivos de maíz son nitrógeno y fósforo, el nitrógeno es acumulado en la parte vegetativa y removilizado hacia los granos en la etapa de floración dependiendo de la relación fuente-fosa.

Aproximadamente entre 31 a 41% del nitrógeno es acumulado en la parte aérea y permanece en el rastrojo una vez cosechado el cultivo, en cambio para el fósforo un 25% es lo que vuelve al suelo.

El estrés por falta de nitrógeno provoca disminuciones de la materia seca tanto en órganos aéreos como raíces, existiendo disminuciones de la radiación interceptada por reducción del área foliar. Las deficiencias en fósforo también mostraron disminuciones en la materia seca de la biomasa aérea (Andrade et al., 1996).

En un experimento realizado por Hassanein et al. (2007) se demostró que al incrementar las dosis de nitrógeno (142, 284, 428 kg ha<sup>-1</sup>) aumenta el contenido de N, P y K en las hojas y en el grano.

Basantes (2012) encontró respuesta positiva al aplicar 120 kg ha<sup>-1</sup> de N y 100 kg ha<sup>-1</sup> de P en el rendimiento del cultivo de maíz.

En un experimento realizado por Munaro et al. (2011) se buscó relacionar la respuesta a la heterosis con características ecofisiológicas para rendimiento de grano por planta en contrastes con distintos niveles de N de 6 líneas puras y 12 híbridos. Se utilizaron 5 niveles de N (desde bajos a altos), en situaciones bajo riego y otras simplemente bajo condiciones de secano. Los resultados muestran un aumento en el rendimiento de grano por planta (65% en híbridos y 30% líneas puras) atribuido al similar incremento en biomasa. La heterosis para rendimiento de grano por planta fue mayor para los altos niveles de N (137%) que para bajos niveles de N (87%), la misma asociada a la heterosis de NGP, biomasa y uso eficiente de la radiación durante llenado de grano. Bajo condiciones de secano, la heterosis se vio reducida y más afectada a altas dosis de N que a bajas dosis de este nutriente.

En cuanto al azufre Gordon (1992) en un ensayo evaluó distintas dosis de este micronutriente y encontró que uno de los mejores rendimientos lo obtuvo con 20 kg/ha de  $\text{CaSO}_4$ .

En un ensayo realizado por Cordone et al. (2001), en el que se evaluó la respuesta del maíz a diferentes combinaciones de dosis de N, P y S (15, 60, 90 y 120 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N; 20 kg  $\text{ha}^{-1}$  de P; 0 y 12 kg  $\text{ha}^{-1}$  de S) se encontró que cada incremento en las dosis de N aumentó el rendimiento con respecto a la anterior, y que al incorporar S este aumentaba más aún para todos los niveles de N utilizados.

### 2.3.2 Nitrógeno

Las deficiencias en nitrógeno afectan el número de granos por espiga y por ende el rendimiento del cultivo. Estas deficiencias provocan una reducción de la tasa de crecimiento del cultivo y consecuentemente una disminución en la partición de asimilados a la espiga (Andrade et al., 1996).

En el experimento realizado por Oliveira et al. (2005) se detectaron incrementos significativos en la mayoría de los genotipos en cuanto a la prolificidad de los mismos al incrementar las dosis de N aplicadas.

Biscaro et al. (2011) demostraron mediante un trabajo de investigación que utilizando distintas dosis de nitrógeno (0, 90, 180 y 360 kg  $\text{ha}^{-1}$ ) se modificó el rendimiento del maíz, incrementándose a medida que aumentó la dosis. Este resultado se explica por un aumento en el NG por hilera, es decir un mayor NG por espiga y un aumento en el peso de mil granos. Las distintas dosis de N no tuvieron influencia en el diámetro de la mazorca, el número de hileras por mazorca, ni en la altura de la planta.

En un experimento conducido por Caviglia et al. (2010) en donde se evaluó el efecto de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N comparado con un tratamiento de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N con distintas densidades de plantas, se encontraron diferencias significativas en cuanto a la utilización de N para todos los casos evaluados.

En un experimento realizado por Masino et al. (2011) donde se utilizaron dosis crecientes de nitrógeno hasta  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  desde un testigo sin fertilizar ( $0, 40, 80, 120, 160 \text{ kg ha}^{-1}$ ), se encontró que todos los tratamientos presentaron diferencias con respecto al testigo y el rendimiento se fue incrementando a medida que las dosis de N aumentaron. Este resultado fue explicado por el peso de mil granos, el cual fue directamente proporcional al incremento en la fertilización.

Los resultados del experimento realizado por Hassanein et al. (2007) mostraron que con las mayores dosis de N utilizadas ( $428 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), la altura de la planta, el número de hojas, el área foliar, la materia seca total y el rendimiento de los granos se incrementaron con respecto a la dosis intermedia ( $284 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), registrándose los valores más bajos para la menor dosis ( $142 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

De Juan Valero et al. (2005) encontraron diferencias significativas en cuanto a la biomasa aérea total del cultivo, cuando se aplicaron dosis intermedias ( $175, 150, 130 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para los años 1999, 2000, 2001 respectivamente) y altas ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ) de fertilizante nitrogenado comparado con la no aplicación del mismo.

También se encontraron diferencias significativas en cuanto al IAF para la mayoría de los casos, al aplicar dosis de nitrógeno intermedias ( $150, 130 \text{ kg ha}^{-1}$  para los años 2000, 2001, respectivamente) y altas ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con respecto a la no aplicación de fertilizante nitrogenado.

Pan et al. (1984) utilizando híbridos de distinta prolificidad, encontró diferencia en rendimiento de grano cuando suministró dos fuentes de nitrógeno ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) utilizando dos dosis diferentes (alta y baja), la diferencia estuvo en el tratamiento de alta dosis con la fuente amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) en el cual los genotipos que produjeron más de 1,5 mazorcas por plantas absorbieron más N y tuvieron mayor producción de materia seca que los tratamientos con  $\text{NO}_3^-$ , estos incremento estuvieron asociados a un mayor rendimiento en granos.

## 2.4 INTERACCIÓN ENTRE POBLACIÓN Y NITRÓGENO

En un experimento realizado por Caviglia et al. (2010) en donde se evaluaron dos dosis de N (0 y 200 kg ha<sup>-1</sup>) a distintas densidades de población (40000 a 45000, 75000 y 90000 a 100000 pl ha<sup>-1</sup> baja, media y alta respectivamente) no se encontró interacción N por densidad de plantas.

Larios et al. (1997) también realizaron un experimento con distintas dosis de nitrógeno (75 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) y tres densidades de siembra (30, 50 y 70 pl m<sup>-2</sup>) con tres híbridos distintos y encontraron que no había interacción entre la densidad de siembra y dosis de N.

Blumenthal et al. (2003) llegaron a los mismos resultados que los autores antes mencionados, no encontraron interacción entre N por densidad de plantas al evaluar cinco poblaciones de maíz (17300, 27200, 37100, 46900 y 56800 plantas/ha) con cinco dosis de N (0, 34, 67, 101 y 134 kg ha<sup>-1</sup>)

La respuesta del rendimiento al aumento de la población es curvilínea (Sangoi et al., 2002), ubicándose el óptimo entre 6 y 9 pl. m<sup>-2</sup> en condiciones de secano (Espinosa Trujillo et al. 2004, Hashemi et al. 2005, Vallone et al. 2011) y una tendencia a encontrar el óptimo en poblaciones más bajas para condiciones de riego (Al-Kaisi e Yin 2003, El-Hendawy et al. 2008, Jamshidi et al. 2012).

En cuanto a los materiales utilizados los híbridos prolíficos tuvieron los mejores resultados para poblaciones de 6 pl. m<sup>-2</sup>, mientras que los no prolíficos los obtuvieron con 8 pl. m<sup>-2</sup> (Thomison y Jordan, 1995).

Con respecto a la distancia entre hileras no existe una tendencia, ni trabajos concordantes, en algunos se encuentra una mayor respuesta a bajas distancia de 50 cm, en otros no existe diferencia entre 50 y 70 cm mientras que en otros trabajos a menor distancia se encuentra la mayor respuesta (Cirilo 2001, Soltero et al. 2010, Vallone et al. 2011).

Con relación a los niveles nutricionales en general en los trabajos existe una tendencia a un incremento del rendimiento a medida que aumentan las dosis de nitrógeno, encontrando respuesta hasta 428 kg ha<sup>-1</sup> de N, sin interacción con la densidad de plantas por hectárea (Cordone 2001, Hassaneim 2007, Biscaro 2011, Masino 2011, Basantes 2012).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló en el campo experimental de riego de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” de la Facultad de Agronomía, ubicada en la Ruta 3 km 363 en el departamento de Paysandú.

#### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El ensayo consistió en evaluar cuatro densidades de plantas de maíz bajo riego sin deficiencias hídricas en todo el ciclo (60000, 80000, 100000, 120000 plantas/ha). A su vez cada parcela fue subdividida en dos, con una fertilización nitrogenada diferente ( $150 \text{ UN ha}^{-1}$  y  $300 \text{ UN}^{-1}$ ), lo que determinó cada tratamiento del experimento.

Cada parcela tuvo 5 hileras de 6 metros de longitud y una distancia entre ellas de 0.7 metros, con un total de  $21 \text{ m}^2$  por parcela, correspondiendo la mitad de esta superficie ( $10.5 \text{ m}^2$ ) a cada sub parcela.

El material genético utilizado fue el híbrido de maíz DK 692, el cual se sembró el 29 de octubre del 2011 y se registró su emergencia el 6 de noviembre del mismo año. Para el control de malezas se realizaron 3 aplicaciones de Glifosato desde post emergencia hasta 6 hojas, en cuanto al control de plagas se hicieron aplicaciones de Clorpirifos a razón de  $1 \text{ l ha}^{-1}$  de producto comercial en el estado fenológico V5 (escala Ritchie y Hanway, 1982).

La fertilización nitrogenada para las dosis de 300 UN se realizaron en dos etapas,  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrógeno en V6 y los  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  restantes en V12, mientras que para las parcelas que recibieron  $150 \text{ UN ha}^{-1}$  únicamente se realizó la aplicación al estado de V6.

El ensayo se realizó en un suelo clasificado como Brunosol sub-eútrico típico de la unidad San Manuel cuyo análisis químico en el año 2011 fue el siguiente:  $\text{MO}=3.5\%$ ,  $\text{P-PO}_4 = 33 \text{ ppm}$  y  $\text{N-NO}_3 = 9 \text{ ppm}$ .

El método de riego utilizado fue por goteo, cada hilera posee un lateral con una distancia entre emisores de 20 cm y reguladores de presión en el sistema de riego de modo de entregar un caudal constante de 11 mm/hora.

El riego fue aplicado según balances hídricos realizados diariamente, los cuales consideran  $\Delta H = PP + R - ET_c$ . La  $ET_c$  se calculó mediante la  $ET_o$  de Penman–Monteith y

los Kc recomendados por las tablas de la FAO. Los datos climáticos diarios se obtienen de la Estación meteorológica automática Vantage Pro 2TM modelo 6510 (Davies Instruments), ubicada en la EEMAC.

### 3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue el Diseño de bloques divididos (Criss cross design), Pearce (1976).

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + \beta_j + D_i * \beta_j + N_k + N_k * \beta_j + N_k * D_i + \varepsilon_{ijk}$$

$\mu$ : Media general

$D_i$ : Efecto de la i-ésima densidad

$\beta_j$ : Efecto de el j-ésimo bloque

$N_k$ : Efecto de la k-ésima dosis de nitrógeno

$\varepsilon_{ijk}$ : error experimental asociado a la i-ésima densidad en el i-ésimo bloque y la i-ésima dosis de nitrógeno.

Siendo:

i: 1, 2, 3, 4

j: 1, 2, 3

k: 1, 2

Supuestos:

- El modelo es aditivo y correcto.

-  $V^S A^S$  iid  $N(0, \sigma^2)$ .

Se utilizaron tres bloques en los que se sortearon cuatro parcelas en las cuales se colocaron las distintas poblaciones, estas fueron 60000 pl ha<sup>-1</sup>, 80000 pl ha<sup>-1</sup>, 100000 pl ha<sup>-1</sup> y 120000 pl ha<sup>-1</sup>.

### 3.4 DETERMINACIONES REALIZADAS

#### 3.4.1 Determinaciones durante el ciclo del cultivo

Se realizaron tres muestreos de MS, dos de ellos en el entorno a floración (R1), 15 días pre floración, 15 días pos floración, siendo el tercer muestreo al momento de cosecha del cultivo (R6). Las plantas fueron cortadas al ras del suelo, tomando un metro lineal para las dos primeras muestras y dos metros lineales al momento de la cosecha. Estas muestras fueron llevadas a estufa a una temperatura de 60°C para eliminar el contenido de humedad de las mismas y poder determinar la biomasa aérea como así también su evolución en estas etapas.

#### 3.4.2 Determinaciones realizadas a cosecha

Se realizó la cosecha manualmente para estimar el rendimiento en grano y los componentes del mismo. Como ya fue mencionado las mediciones fueron en dos metros lineales de la hilera central de la parcela. Se realizó el conteo del número de hileras por espiga, granos por hileras para cada espiga, número de espigas por planta y se determinó el peso de mil granos el cual fue corregido por humedad.

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron analizados con el software estadístico “INFOSTAT” versión estudiantil 2010.

Se desarrollaron los siguientes análisis:

- Análisis de la varianza: Mediante el análisis de la varianza se descompone la variación total en tantos componentes como tenga el modelo.

- Pruebas de Comparación Múltiple: Se realizó una prueba de comparación múltiple (Tukey).

- Análisis de correlación: Se analizaron las variables de interés, de forma de obtener una medida de la magnitud de asociación entre las variables, mediante el coeficiente de Pearson.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS

#### 4.1.1 Precipitaciones

En la Figura 1 se observan las PP mensuales ocurridas en la EEMAC para el periodo en que se desarrolló el experimento y el promedio de una serie histórica comprendida entre los años 1961 y 2009.

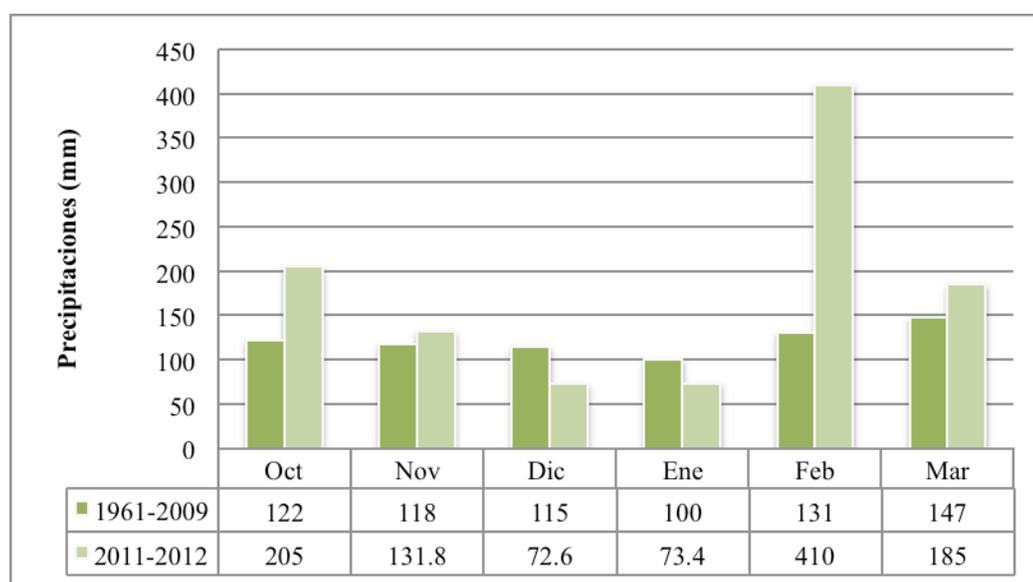


Figura 1. Precipitaciones (mm) ocurridas en Paysandú durante octubre a abril del año agrícola 2011-12 y valores promedio para la serie histórica 1961 a 2009 (elaborado en base a datos de la Estación Meteorológica Automática de la EEMAC<sup>3</sup>, MDN. DNM, citado por Canosa-Prieto, 2013).

Considerando las PP totales durante el ciclo del cultivo, éstas fueron 334 mm superiores a las ocurridas en la serie histórica comprendida entre 1961 y 2009. Sin embargo para el periodo crítico (PC) de determinación del rendimiento del cultivo (26

<sup>3</sup> Facultad de Agronomía. EMAAC. 2011. Precipitaciones (sin publicar)

de diciembre a 26 de enero), las PP ocurridas fueron menores que las de la serie histórica, registrándose sólo dos eventos de lluvias sumando 45 mm.

El rendimiento del maíz es altamente dependiente del ambiente de producción, al ser el régimen hídrico un factor controlado en el experimento el rendimiento dependió principalmente de las condiciones de radiación solar (RS) y temperaturas durante el ciclo.

#### 4.1.2 Radiación solar

En la Figura 2 se presentan los datos de RS para el año en estudio y la serie histórica comprendida entre el 2002 y 2012.

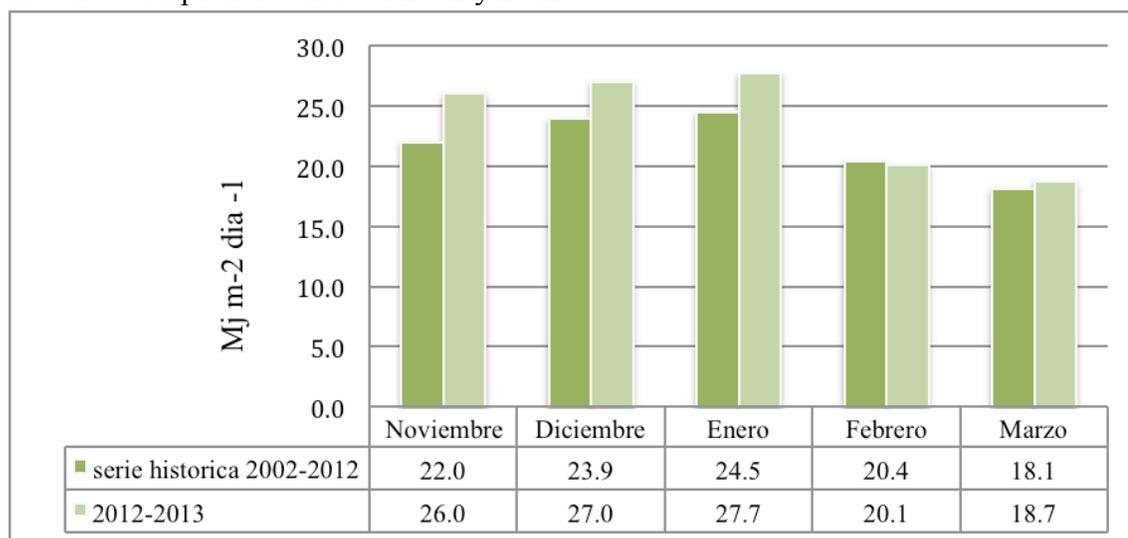


Figura 2. Radiación solar ( $\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) ocurrida en Paysandú durante los meses de noviembre a marzo del año agrícola 2011-12 y valores promedio de la serie histórica 2002-12 (elaborado en base a datos de la Estación Meteorológica Automática de la EEMAC<sup>4</sup>, MDN. DNM, citado por Canosa-Prieto, 2013).

Se aprecia que la RS se ubicó por encima de la media de la serie considerada en todos los meses del ciclo exceptuando el mes de febrero, donde los valores para el año agrícola 2011-12 fueron ligeramente inferiores a los de la serie. Esto fue consecuencia

<sup>4</sup> Facultad de Agronomía. EMAAC. 2011. Radiación (sin publicar)

de las PP que fueron superiores a la media y determinaron una nubosidad elevada, generando menor RS incidente en febrero, con respecto al promedio histórico.

Como ya fue indicado durante el PC se registraron escasas PP y los niveles de RS más altos del ciclo, estas condiciones fueron favorables para el cultivo, ya que existe una relación positiva entre la radiación fotosintéticamente activa y el número de granos fijados que es el componente principal del rendimiento (Otegui, 1998). Por lo tanto, los niveles de RS registrados durante el ciclo del cultivo no significaron una limitante para obtener una alta fijación de granos.

#### 4.1.3 Temperatura

En la Figura 3 se muestran las temperaturas para el periodo en que se desarrolló el experimento y las de la serie histórica comprendida entre 1951-2008. Las temperaturas del año en estudio fueron similares a las de dicha serie.

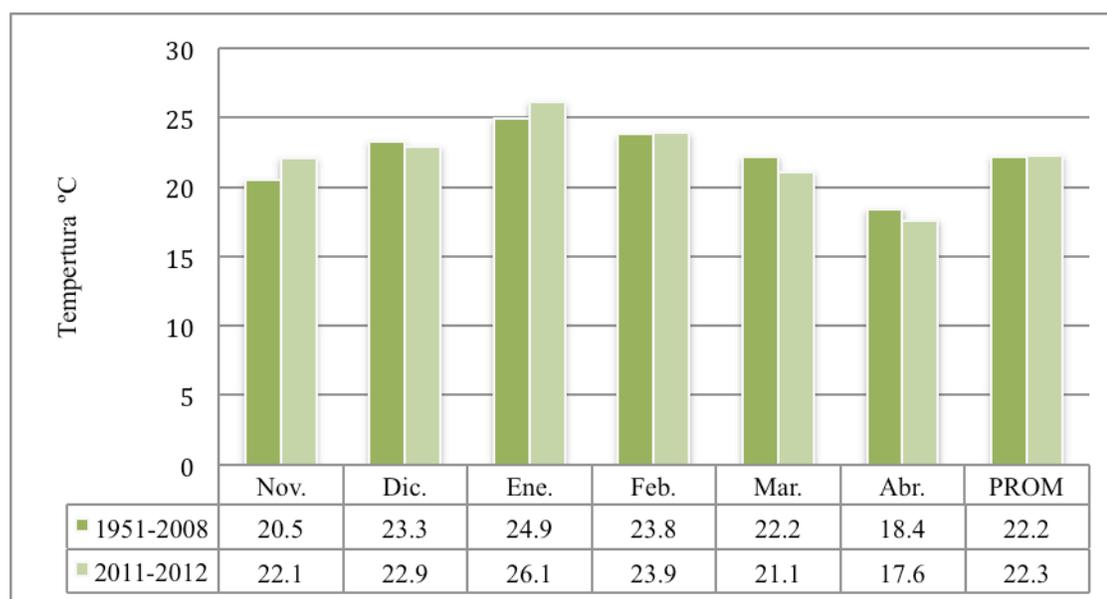


Figura 3. Temperatura (°C) ocurrida en Paysandú durante 2011-12 y valores promedio de la serie histórica 1951-2008 (elaborado en base a datos de la Estación Meteorológica Automática de la EEMAC<sup>4</sup>).

Las temperaturas medias durante el ciclo del cultivo no alcanzaron el rango de temperaturas óptimas para maíz mencionado por Andrade et al. (2000), de todas formas la misma no se consideraron limitantes, ya que se encuentra por debajo de la temperatura crítica del cultivo.

#### 4.2. INTERACCIÓN

En el experimento no se encontró interacción entre las poblaciones y las dosis de nitrógeno aplicadas para ninguna variable de respuesta, por lo tanto se analizaron solo los efectos principales.

#### 4.3. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA SECA

La Figura 4 muestra la acumulación de MS medida al comienzo del PC, al final del mismo y al momento de la cosecha, en los diferentes tratamientos evaluados. Las mediciones de MS no mostraron diferencias estadísticas entre las poblaciones ensayadas, como así tampoco en los distintos niveles de fertilización evaluados (Cuadro 2).

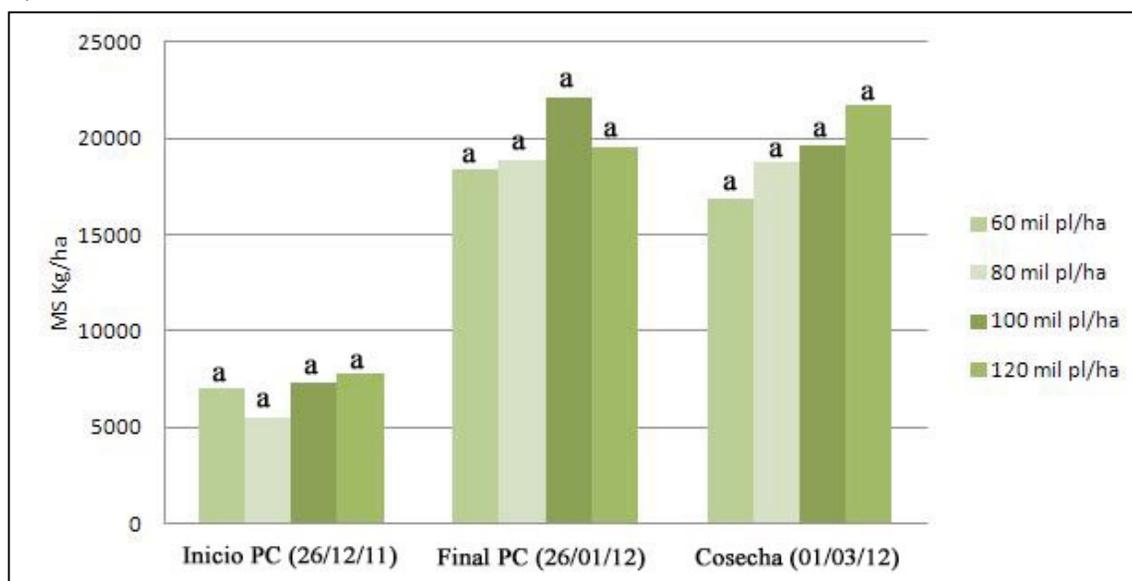


Figura 4. Materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para cada población evaluada al inicio del periodo crítico (26/12/11), final del periodo crítico (26/03/12) y a cosecha sin grano (01/03/12).

Se observa en la Figura 4 un fuerte incremento de la MS desde el inicio al final del PC, triplicándose la cantidad durante esta etapa. En cambio, en el periodo que transcurre desde la finalización del PC hasta la cosecha la MS permaneció sin grandes modificaciones.

En el Cuadro 1, se muestra el crecimiento por planta promedio en cada población evaluada, las poblaciones menores difieren significativamente con respecto a las poblaciones intermedias y altas.

Al finalizar el PC el peso promedio de las plantas de la población más baja evaluada fue mayor, mientras que las plantas de la población más alta registraron un peso por planta promedio significativamente inferior (Cuadro 1). Esta información explica el hecho de que no se modifique la MS por superficie, ya que las poblaciones menores compensan la MS por superficie con una mayor producción de MS por planta.

Cuadro 1. Peso seco (g) por planta promedio con mazorca para cada población evaluada al finalizar el periodo crítico.

<b>Población (plantas ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>MS pl<sup>-1</sup> (g)</b>
<b>60000</b>	338 a
<b>80000</b>	268 b
<b>100000</b>	224 bc
<b>120000</b>	190 c
<b>DMS</b>	66

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

Los resultados presentados en la Figura 4 contrastan con los encontrados por Sarlangue et al. (2007), quienes estudiaron distintos híbridos con diferentes densidades de plantas, y en todos los casos la MS total de la parte aérea se incrementó a medida que aumentó la densidad de siembra. También existieron diferencias con los resultados reportados por Hashemi et al. (2005) donde al estudiar tres híbridos bajo distintas densidades de siembra se encontraron con mayor producción de biomasa para las dos más altas.

En lo que respecta a las variaciones en la dosis de nitrógeno éstas no generaron diferencias significativas para la acumulación de MS producida, en ninguno de los muestreos realizados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) según dosis de nitrógeno al inicio, final del periodo crítico y a cosecha.

<b>Dosis de N (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	<b>MS Inicio PC (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	<b>MS Final PC (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	<b>MS Cosecha (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>
<b>150</b>	6625a	18120a	18041a
<b>300</b>	7217a	21376a	20509a
<b>DMS</b>	1412	4672	4498

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4. TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DURANTE EL PERÍODO CRÍTICO

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de las TCC y la TCP promedio durante el PC para las distintas poblaciones evaluadas.

La TCC en el PC es un buen indicador del estado fisiológico del cultivo, en esta etapa se determina el número de espigas por planta y el número de granos por espiga (Andrade et al., 1996).

Cuadro 3. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC,  $\text{kg ha}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) y tasa de crecimiento por planta (TCP,  $\text{g pl}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) en el periodo crítico para cada población evaluada.

<b>Población (pl ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>TCC (kg ha<sup>-1</sup>día<sup>-2</sup>)</b>	<b>TCP (g pl<sup>-1</sup>día<sup>-2</sup>)</b>
<b>60000</b>	368a	6,13a
<b>80000</b>	431a	5,38a
<b>100000</b>	478a	4,78a
<b>120000</b>	379a	3,16a
<b>DMS</b>	242	3,37

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

En el Cuadro 3 se aprecia que las TCC y las TCP no presentaron diferencias significativas entre las distintas poblaciones evaluadas. Sin embargo para las TCP, se observa una clara tendencia a disminuir casi a la mitad a medida que aumenta la población. Esto coincide con resultados obtenidos por Andrade et al. (1996), Echarte et al. (2000), los cuales encontraron diferencias significativas para esta característica.

Esto se puede explicar observando la diferencia mínima significativa (DMS), que tuvo un valor de 3,37, la cual se acerca al valor encontrado para la diferencia entre la población de 60000 pl ha<sup>-1</sup> y las de 120000 pl ha<sup>-1</sup> de 3,08 g pl<sup>-1</sup>día<sup>-2</sup>.

Esta disminución en la TCP podría ser la explicación de que no existan diferencias en la TCC, lo cual se contrapone con los resultados obtenidos por Aguilar y López-Bellido (1996) quienes encontraron una mayor TCC para poblaciones intermedias.

En el Cuadro 4 se observan para las distintas dosis de nitrógeno la TCC y TCP del cultivo.

Cuadro 4. Tasa de crecimiento cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) y tasa de crecimiento por planta ( $\text{gr pl}^{-1}\text{día}^{-2}$ ) para las distintas dosis de nitrógeno.

<b>Dosis de N</b> <b>(<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	<b>TCC</b> <b>(<math>\text{kg ha}^{-1}\text{día}^{-2}</math>)</b>	<b>TCP</b> <b>(<math>\text{gr pl}^{-1}\text{día}^{-2}</math>)</b>
<b>150</b>	371a	4,34a
<b>300</b>	457a	5,39a
<b>DMS</b>	147	1,55

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

Al analizar las TCC y las TCP para las distintas dosis de nitrógeno no se encontraron diferencias significativas entre las distintas poblaciones coincidiendo con los resultados de MS, lo que indica que las cantidades mínimas utilizadas en el experimento fueron suficientes para lograr máximas tasas de crecimiento, al no existir otras limitantes.

#### 4.5. RENDIMIENTO

En el Cuadro 5 se presentan los rendimientos en grano obtenidos para cada población estudiada.

Cuadro 5. Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para cada población ensayada.

<b>Población</b> <b>(<math>\text{pl. ha}^{-1}</math>)</b>	<b>Rendimiento</b> <b>(<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>
<b>60000</b>	12977a
<b>80000</b>	13952a
<b>100000</b>	12451a
<b>120000</b>	12996a
<b>DMS</b>	3316

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

Como se observa en el Cuadro 5, no se detectaron diferencias significativas en rendimiento al modificar las poblaciones, estos resultados difieren con los encontrados por Aguilar y López-Bellido (1996), que estudiando cuatro densidades (55000, 75000,

95000, 115000 pl. ha<sup>-1</sup>) obtuvieron el rendimiento óptimo con 95000 pl. ha<sup>-1</sup>, cumpliendo con la respuesta curvilínea del maíz expuesta por Sangoi et al. (2002).

El hecho de que en este experimento no se hayan encontrado diferencias en el rendimiento entre poblaciones, significa que existe mayor producción individual por planta en las poblaciones más bajas evaluadas. Esto se contrapone con la mayor parte de la literatura revisada sobre el tema, en donde se expone que el maíz es un cultivo con baja plasticidad y que el mismo presenta escasos mecanismos de compensación al realizar modificaciones en la población (Andrade et al., 2000). También se contrapone con los resultados nacionales obtenidos por De León et al. (1977), quienes afirman que al aumentar la población de 65000 a 101000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego el rendimiento aumento un 26 %.

Estos resultados también contrastan a los encontrados por Giménez (2000), el cual obtuvo los mayores rendimientos en grano bajo riego con la población más alta del ensayo (120 mil pl. ha<sup>-1</sup>), cabe destacar que el híbrido utilizado en el experimento no presentaba prolificidad<sup>2</sup>, lo que puede estar explicando las diferencias de los resultados.

En el Cuadro 6 se muestran los rendimientos obtenidos en las dos dosis de nitrógeno evaluadas.

Cuadro 6. Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) para las dos dosis de nitrógeno evaluadas.

<b>Dosis de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>150</b>	12821a
<b>300</b>	13366a
<b>DMS</b>	1171

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí (p<0,05).

En el Cuadro 6 se observa que no se detectaron diferencias significativas en rendimiento al utilizar distintas dosis de nitrógeno. Estos resultados, no son coincidentes con los encontrados en la literatura revisada sobre el tema, ya que con dosis similares de nitrógeno se encontró que el rendimiento se incrementó en la medida que el nitrógeno aumentó (Hassanein et al. 2007, Biscaro et al. 2011). No obstante estos resultados están

sujetos a las condiciones en que se desarrolle el experimento y a las características del híbrido sembrado. El suelo puede contener distintos niveles de nitrógeno inicial, esto afecta la respuesta al agregado de nitrógeno. Por otra parte, no todos los híbridos requieren la misma TCC para fijar granos por lo que los requerimientos de nitrógeno son diferentes de acuerdo al material genético utilizado.

#### 4.5.1. Componentes del rendimiento

Los componentes numéricos principales del rendimiento son el número de granos por superficie y el peso promedio de los mismos (Otegui, 1998).

##### 4.5.1.1 Número de granos por superficie

En el Cuadro 7 se presentan los resultados del número de granos por superficie para las distintas poblaciones en estudio, se observa que no existen diferencias significativas en el número de granos por superficie para las distintas poblaciones estudiadas, por lo tanto al aumentar la población el número de granos por planta disminuyó proporcionalmente al aumento de la misma. Esto se explica por una reducción de los recursos destinados a cada planta, la cual genera un menor crecimiento individual y como consecuencia una disminución en la fijación de granos por espiga

Cuadro 7. Número de granos por superficie según población.

<b>Población (plantas ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Número de granos m<sup>-2</sup></b>
<b>60000</b>	5123a
<b>80000</b>	5095a
<b>100000</b>	4558a
<b>120000</b>	5060a
<b>DMS</b>	2702

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

En el Cuadro 8 se observan los resultados de los subcomponentes del rendimiento en grano para las distintas poblaciones utilizadas en el ensayo.

Cuadro 8. Número de hileras por espiga, número de granos por hilera y número de granos por espiga para las distintas poblaciones estudiadas.

<b>Población (plantas ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Número hileras por espiga</b>	<b>Número de granos por hilera</b>	<b>Número de granos por espiga</b>
<b>60000</b>	15a	31a	473a
<b>80000</b>	14ab	28a	384 b
<b>100000</b>	13 b	29a	386 b
<b>120000</b>	14ab	28a	387 b
<b>DMS</b>	1,6	3,8	92

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

Como se observa en el Cuadro 8 el número de granos por espiga presentó diferencias significativas para la población de 60000 plantas ha<sup>-1</sup> con respecto a las demás poblaciones. Si bien no se detectaron diferencias para el número de granos por hilera, tanto éste como el número de hileras por espiga, presentaron una tendencia a disminuir en la medida que aumentó la población. Estas tendencias sumadas provocaron las diferencias en el número de granos por espiga. Tetio-Kagho y Gardner (1988), señalan resultados similares con respecto a estos componentes al variar las poblaciones.

Una posible explicación para esta disminución en el número de granos por espiga podría ser un menor rendimiento de la espiga secundaria con respecto a la primaria, tal como encontraron Espinosa Trujillo et al. (2004), dando como resultado el menor número de granos promedio por espiga que se presentan en el Cuadro 8.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos para el número de espigas por planta y número de espigas por metro cuadrado para cada población.

Cuadro 9. Número de espigas por planta y número de espigas por superficie para las distintas poblaciones.

<b>Población (pl ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Número de espigas por planta</b>	<b>Número de espigas por metro cuadrado</b>
<b>60000</b>	1,92 a	11a
<b>80000</b>	1,58 ab	13a
<b>100000</b>	1,24 b	12a
<b>120000</b>	1,10 b	13a
DMS	0,51	4,8

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

En el Cuadro 9, se observa que no existieron diferencias en el número de espigas por superficie para las distintas poblaciones ensayadas. Las poblaciones menores compensaron el rendimiento con un aumento del número de espigas por planta.

La compensación presentada por las poblaciones más bajas se atribuye a una buena expresión de la prolificidad del híbrido utilizado, produciendo más de una espiga viable por planta, así como a un aumento del número de granos por espiga, también expresado en las poblaciones menores (Cuadro 8). Esto explica el mayor número de granos por planta de las poblaciones más bajas, traduciéndose en similar número de granos por superficie entre las poblaciones y justificando de esa manera que no exista diferencias en el rendimiento. Asimismo, ocurrió la pérdida de la segunda espiga en las poblaciones mayores coincidiendo con Andrade et al. (1996). Estas características podrían estar apoyando la existencia de híbridos independientes de la densidad expuesta por Tokatlidis et al. (2005), Berzsenyi y Tokatlidis (2012).

A nivel nacional, no existe información sobre la prolificidad de los híbridos en la evaluación oficial de cultivares que realiza INIA-INASE (INIA e INASE, 2013). En cuanto a la prolificidad, no es una característica que se analice al realizar la selección de híbridos de maíz, ni tampoco en la producción comercial del cultivo, debido a la falta de información sobre el tema en el país<sup>5 6 7</sup>.

<sup>5</sup> Pérez, O. 2013. Com. personal.

<sup>6</sup> Sorrondegui, D. 2013. Com. personal.

<sup>7</sup> Uteda, P. 2013. Com. personal.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Andrade et al. (1996), los cuales explican la estabilidad en el rendimiento por esta vía, junto con la modificación del número de granos de la segunda espiga. También son congruentes con los encontrados por Espinosa Trujillo et al. (2004) quienes encontraron variaciones en el número de espigas por planta al modificar la población.

La TCP explica en cierta medida la variación en el número de espigas por planta entre poblaciones, según Andrade et al. (2000) los híbridos prolíficos tienen un umbral de TCP para fijar granos en la segunda espiga de aproximadamente  $4 \text{ g pl}^{-1} \text{ día}^{-2}$  con variaciones dependiendo del híbrido utilizado.

En el Cuadro 3 se observa que la población más baja evaluada de 60000 plantas, presentó una TCP de  $6,13 \text{ g pl}^{-1} \text{ día}^{-2}$  en el PC, la cual superó ampliamente el umbral indicado por Andrade et al. (2000) y presentó una prolificidad cercana a 2 (Cuadro 9). En las poblaciones intermedias evaluadas de 80000 y 100000  $\text{pl ha}^{-1}$  los valores de TCP son más bajos, acercándose más al límite  $5,38$  y  $4,78 \text{ g pl}^{-1} \text{ día}^{-2}$ , respectivamente, en este caso la prolificidad es intermedia. Por último en la población más alta evaluada de 120000  $\text{pl ha}^{-1}$  la TCP fue de  $3,16 \text{ g pl}^{-1} \text{ día}^{-2}$  y no superó el umbral de referencia, la prolificidad fue prácticamente nula. Por lo tanto, se puede indicar que la TCP obtenida se aproximan al umbral de  $4 \text{ gr pl}^{-1} \text{ día}^{-2}$  mencionado por Andrade et al. (2000).

El mayor número de granos por planta que presentaron las poblaciones bajas es explicado por la TCP en el PC. Ésta mayor TCP provocó un aumento del número de espigas por planta y del número de granos por espiga.

En lo que respecta a los resultados obtenidos para las distintas dosis de nitrógeno aplicadas, éstos no presentaron diferencias significativas para los componentes y subcomponentes del rendimiento evaluados como se observa en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado y número de granos por metro cuadrado según dosis de nitrógeno aplicada.

<b>Dosis de N</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	<b>Número granos por espiga</b>	<b>Número espiga m<sup>-2</sup></b>	<b>Número granos m<sup>-2</sup></b>
<b>150</b>	414a	12,8a	5188a
<b>300</b>	405a	11,4a	4730a
<b>DMS</b>	26,8	1,8	547

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

#### 4.5.1.2 Peso de granos

En el Cuadro 11 se muestra el peso de mil granos en las diferentes poblaciones estudiadas.

Cuadro 11. Peso de mil granos (g) según población.

<b>Población</b> (pl ha <sup>-1</sup> )	<b>Peso de mil granos</b> (g)
<b>60000</b>	247a
<b>80000</b>	251a
<b>100000</b>	251a
<b>120000</b>	253a
<b>DMS</b>	28,3

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí ( $p < 0,05$ ).

Como se observa en el Cuadro 11, el peso de los granos no presentó diferencias significativas entre las poblaciones, esto se debe a que el periodo efectivo de llenado de grano es menos susceptible frente a modificaciones en el ambiente tal como afirma Andrade et al. (2000). Sin embargo, éstos resultados se contraponen con los obtenidos por López et al. (2004), Espinosa Trujillo et al. (2004), en donde al modificar la población también se modificó el peso de mil granos. El peso de mil granos no alcanzó para ninguna de las poblaciones en estudio el peso potencial del híbrido DK 692, esto explicado por una menor radiación en el periodo de llenado de grano como se observa en la Figura 2, provocado por más precipitaciones en el mes de febrero por lo que en

consecuencia genera mayor nubosidad y por tanto menor radiación, esto explica que no se haya alcanzado el rendimiento potencial de maíz para la zona en estudio.

En el Cuadro 12 se presenta el peso de mil granos para las distintas dosis de fertilizante aplicado. En el mismo se observa que no existieron diferencias significativas al modificar las dosis. Esto difiere de los resultados obtenidos por Biscaro et al. (2011), donde se encontró un aumento del rendimiento explicado en parte por el peso de mil granos con dosis de nitrógeno similares a las utilizadas en este experimento de 360 kg ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 12. Peso de mil granos (g) según dosis de fertilizante.

<b>Dosis de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Peso de mil granos (g)</b>
<b>150</b>	252 <sup>a</sup>
<b>300</b>	249 <sup>a</sup>
<b>DMS</b>	12,5

Valores seguidos por letras iguales dentro de columnas no difieren entre sí (p<0,05).

#### 4.5.1.3 Relación entre el rendimiento y los componentes numéricos

En las Figuras 5 y 6 se muestran las correlaciones entre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado y entre el peso promedio de granos y el rendimiento respectivamente.

Como se observa en la Figura 5 existe una relación elevada entre el número de granos por superficie y el rendimiento, la cual indica que incrementos en el número de granos por superficie generan aumentos en el rendimiento en grano de maíz.

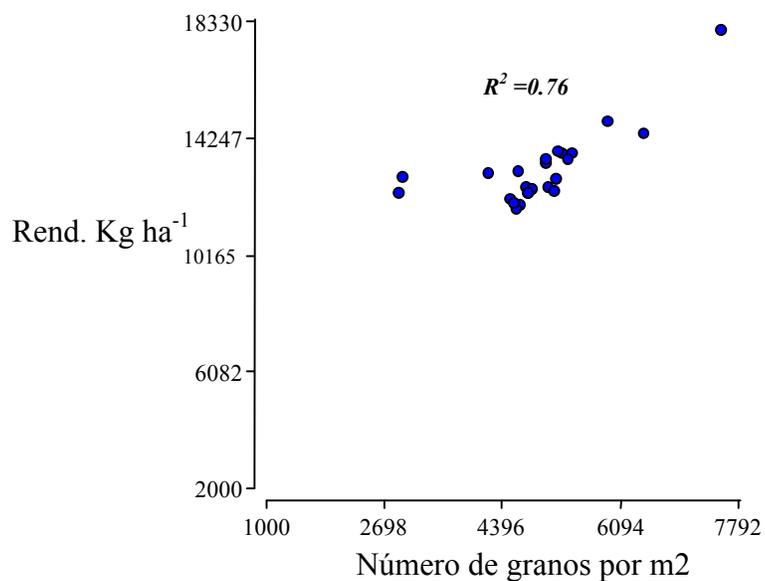


Figura 5. Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) en función del número de granos por superficie.

En la Figura 6 vemos que no existe relación entre el peso de mil granos y el rendimiento en grano, de acuerdo al coeficiente de correlación obtenido se puede asegurar que el peso de mil granos y el rendimiento en grano no estuvieron asociados en mayor medida.

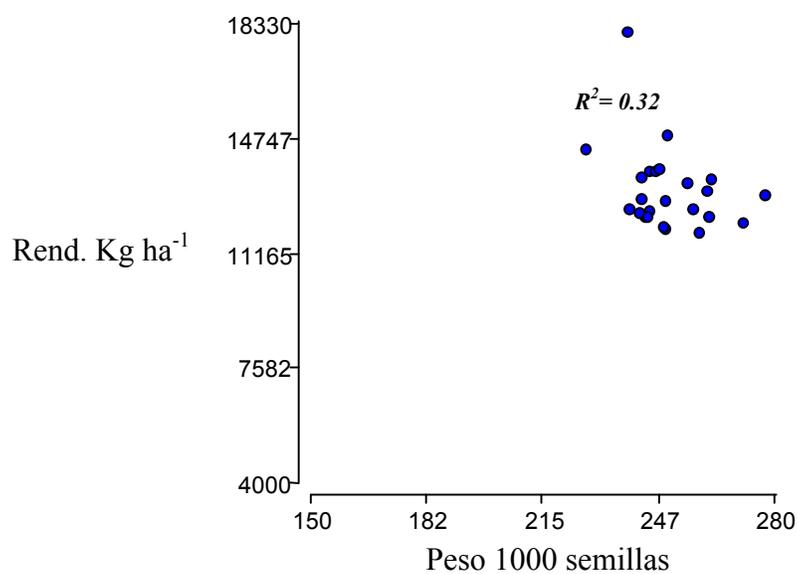


Figura 6. Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) en función del peso de mil semillas.

Así mismo, se analizó el grado de asociación entre el rendimiento en grano y el número de espigas por planta, para esto se correlacionó ambas variables y como se observa en la Figura 7, la relación entre las mismas es muy baja para poder afirmar que el número de espigas por planta modifica en gran medida el rendimiento en grano.

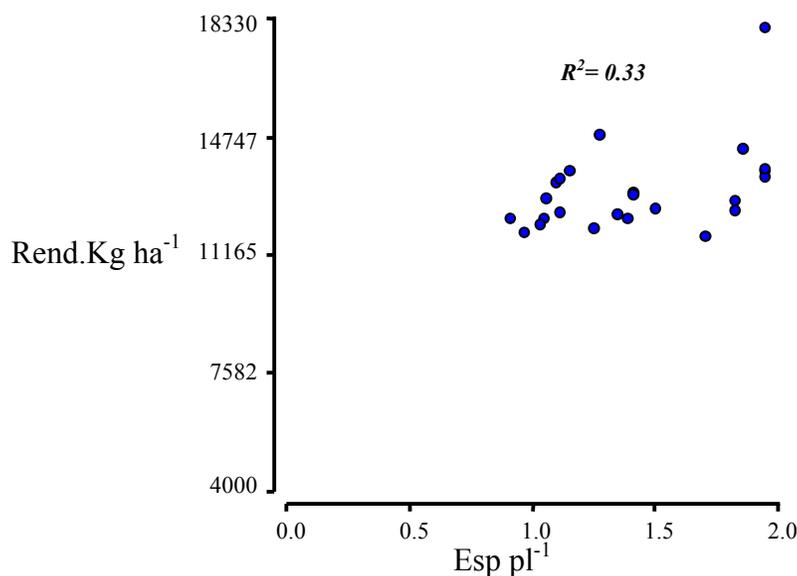


Figura 7. Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en función del Número de espigas por planta ( $\text{Esp pl}^{-1}$ ).

El componente del rendimiento que modificó en mayor grado el rendimiento fue el número granos por hectárea. Para lograr el máximo número de granos por superficie en híbridos prolíficos existen distintos mecanismos, uno de ellos es lograr un número elevado de espigas por planta con poblaciones bajas y otro es lograr concretar un alto número de espigas por metro cuadrado con poblaciones elevadas.

El número de espigas por planta y el número granos por espiga fueron los componentes que compensaron en mayor medida el número granos por hectárea en las poblaciones más bajas ensayadas, dando como resultado un rendimiento similar en todas las poblaciones del ensayo. Esto coincide con lo expuesto por Tetio-Kagho y Gardner (1988) en donde se demuestra que los componentes del rendimiento que se ven más afectados por la variación en la densidad de plantas son el número de granos por espiga, el número de granos por hilera y el número de espigas por planta.

La población óptima en híbridos prolíficos y no prolíficos depende de los recursos ambientales disponibles (Rossini, 2006). En aquellos híbridos que son prolíficos creciendo en ambientes que permitan elevadas TCP es posible lograr más de

una espiga por planta con poblaciones bajas (Prior y Russell 1975, Andrade et al. 1996), sin embargo en los híbridos no prolíficos esta vía no es frecuente y el máximo número de granos hectárea se debe lograr con el ajuste de la población y la capacidad del híbrido de modificar el número de granos por espiga.

Por lo tanto, en maíz la elección de la población óptima va a ser dependiente de las características del híbrido a utilizar en relación a prolificidad y al ambiente de producción.

## 5. CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias en el rendimiento en grano al modificar las poblaciones, en el rango estudiado. Este comportamiento se explicó por la compensación que presentaron las poblaciones menores en relación a las mayores evaluadas.

Esta compensación de las poblaciones menores se logró por la prolificidad que presentó el híbrido utilizado, es decir se logró más de una espiga por planta al disminuir las poblaciones explicado por una mayor TCP durante el PC en las poblaciones bajas. Además en las poblaciones menores aumentó el número de granos por espiga, mediante la modificación tanto del número de granos por hilera como del número de hileras por espiga.

El número de granos por superficie tuvo una alta correlación con el rendimiento, mientras que las otras variables estudiadas (número de espigas por planta y peso de mil granos) no estuvieron correlacionados en mayor medida.

No hubo diferencias entre las dosis de nitrógeno utilizadas para la materia seca, tasa de crecimiento, rendimiento ni componentes del mismo.

Los resultados sugieren que al no haber diferencias significativas entre las poblaciones, la población óptima es de 60000 plantas por hectárea para el híbrido DK 692 bajo riego con una dosis de fertilización nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup>.

## 6. RESUMEN

Se desarrolló en la Estación Experimental “Dr. M. A. Cassinoni situada de Paysandú, Uruguay, un experimento en el cual se evaluó el efecto de distintas poblaciones de maíz (*Zea mays*) y distintas dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y sus componentes bajo condiciones de riego. El ensayo consistió en evaluar cuatro poblaciones, 60000, 80000, 100000 y 120000 pl ha<sup>-1</sup> bajo condiciones hídricas no limitantes, cada una fertilizada con dos dosis de nitrógeno, 150 y 300 UN. Se evaluaron ocho tratamientos, T1= 60000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 150 UN, T2= 60000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 300 UN, T3= 80000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 150 UN, T4= 80000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 300 UN, T5= 100000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 150 UN, T6= 100000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 300 UN, T7= 120000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 150 UN y T8= 120000 pl ha<sup>-1</sup> bajo riego con 300 UN. El diseño utilizado fue el de bloques divididos (Criss-cross design), con tres bloques divididos en 5 parcelas las cuales se dividieron en dos dosis de fertilización. Se realizó el análisis de la varianza, donde se descompone la misma en los componentes del modelo, observándose que no existen diferencias entre los tratamientos propuestos, para las diferentes poblaciones ni para las dosis de nitrógeno, esto se le atribuye a la flexibilidad del híbrido utilizado. En lo que refiere a la MS y la TCC en el PC tampoco se encontraron diferencias entre poblaciones pero sí para la TCP en el PC, aunque no fueron significativas desde el punto de vista estadístico se observó una fuerte tendencia. Los componentes del rendimiento que explicaron la compensación de las poblaciones fueron el número de espigas por planta y el número de granos por espiga, dando como resultado un mismo número de espigas y número de granos por superficie. Este último fue el componente con más correlación con el rendimiento, con un  $R^2=0.76$ . El peso promedio de mil granos no se vio afectado al modificar las poblaciones. En cuanto a las dosis de N aplicadas no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento ni sus componentes.

Palabras clave: Maíz; Población; Nitrógeno.

## 7. SUMMARY

It was developed at the Experimental Station “Dr. M. A. Cassinoni located Paysandú, Uruguay, an experiment in which it was evaluated the effect of different populations of maize (*Zea mays*) and different doses of nitrogen fertilization on yield and its components under irrigated conditions. The trial consisted on evaluating four populations, 60000, 80000, 100000 and 120000  $\text{ha}^{-1}$  under non-limiting water conditions, each fertilized with two rates of nitrogen, 150 and 300 UN. Eight treatments were evaluated T1 = 60000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 150 UN, T2 = 60000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 300 UN, T3 = 80000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 150 UN, T4 = 80000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 300 UN, T5 = 100000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 150 UN, T6=100000  $\text{pl ha}^{-1}$  irrigated with 300 UN, T7 = 120000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 150 UN and T8 = 120000  $\text{pl ha}^{-1}$  under irrigation with 300 UN. The design used was a Criss - cross design with three blocks divided into 5 plots which were divided into two doses of fertilization. An analysis of variance was performed, where it breaks down the components of the model, showing no differences between the treatments using different populations and diferent doses of nitrogen, this is attributed to the flexibility of the hybrid used. In regard to dry matter and crop growth rate during the critical period there where no differences found between populations, but there was for plant growth rate during the critical period, although it was not significant from the statistical point of view it was a strong trend. The yield component wich Yield components that explained compensation populations were the number of ears per plant and the number of grains per ear, resulting in the same number of ears and number of grains per surface. Number of grains per surface was the most correlated with yield, with an  $R^2=0.76$ . The average weight of thousand grains was not affected by changing populations. Nitrogen rates applied were not found significant differences in performance or its components.

Keywords: Corn; Population; Nitrogen.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, M.; López-Bellido, L. 1996. Growth and yield of irrigated maize under Mediterranean conditions; the effect of cultivar and plant density. *Cereal Research Communications*. 24(4): 499-506.
2. Al-Kaisi, M.M.; Yin, X. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal*. 95(6): 1475-1482.
3. Andrade, F.H.; Cirilo, A; Uhart, S.; Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Buenos Aires, La Barrosa. pp.82-239.
4. \_\_\_\_\_; Sadras, V. 2000a. Bases para el manejo del maíz, el girasol y soja; densidad de plantas y espaciamento entre hileras. Balcarce, Buenos Aires, INTA. cap. 4, pp. 97-126.
5. \_\_\_\_\_; Aguirrezábal, L.A.N.; Rizzalli, R.H. 2000b. Crecimiento y rendimiento comparados. *In*: Andrade, F.H.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo de maíz, soja y girasol. Balcarce, Buenos Aires, INTA. cap. 3, pp. 61-96.
6. Asafu-Agyei, J. N. 1990. Effect of plant density on the yield of maize (*Zea mays* L.) in Ghana. *Ghana of Journal Science*. 20:85-92.
7. Berzsenyi, Z.; Tokatlidis, I.S. 2012. Density dependence rather than maturity determines hybrid selection in dryland maize production. *Agronomy Journal*. 104(2): 331-336.
8. Biscaro, G.A.; Viegas de Araujo Motomiya, A.; Ranzi, R.; Braz Vaz, M.A.; Ferreira do Prado, E.A.; Rosa Silveira, B.L. 2011. Desempenho do milho safrinha irrigado submetido a diferentes doses de nitrogênio via solo e foliar. *Revista Agrarian*. 4(11): 10-19.
9. Blumenthal, J.M.; Lyon, D.J.; Stroup, W.W. 2003. Optimal plant population and nitrogen fertility for dryland corn in western Nebraska. *Agronomy Journal*. 95(4): 878-883.

10. Caviglia, O.P.; Van Opstal, N.V.; Gregorutti, V.C.; Melchiori, R.J.M. 2010. Captura y uso del agua y la radiación en maíz; efectos de la densidad de plantas y de la fertilización nitrogenada. In: Congreso Nacional de Maíz (9°, 2010, Rosario, Santa Fe, Argentina). Actas. Buenos Aires. s.e. pp. 56-57.
11. Canosa, G.; Prieto, C. 2013. Estudio del efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Paysandú, Uruguay. Facultad de Agronomía. 33 p.
12. Cirilo, A.G. 2001a. Influencia de la distancia entre surcos sobre los componentes del rendimiento en maíz. In: Congreso Nacional de Maíz (7°, 2001, Pergamino, Buenos Aires, Argentina). Actas. Pergamino, AIANBA. s.p.
13. \_\_\_\_\_. 2001b. Llenado del grano y rendimiento en maíz. In: Congreso Nacional de Maíz (7°, 2001, Pergamino, Buenos Aires, Argentina). Actas. Pergamino, AIANBA. s.p.
14. \_\_\_\_\_. 2005. Distancia entre surcos; criterios para su manejo en el cultivo de maíz. In: Congreso Nacional de Maíz (8°, 2005, Rosario, Santa Fe, Argentina). Actas. Pergamino, AIANBA. pp. 433-434.
15. De Juan Valero, J. A.; Maturano, M.; Artigao Ramirez, A.; Tarjuelo Martin-Benito, J.M.; Ortega Alvarez, J. F. 2005. Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. Spanish Journal of Agricultural Research. 3(1): 134-144.
16. De León, J. L.; Capurro, E. 1977. Efecto de la población de plantas en el rendimiento de grano de maíz bajo riego. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. 15: 12-16.
17. Durieux, R.P.; Kamprath, E.J.; Moll, R.H. 1993. Yield contribution of apical and subapical ears in prolific and nonprolific corn. Agronomy Journal. 85(3): 606-610.
18. Echarte, L.; Luque, S.; Andrade, F.H.; Sadras, V.O.; Cirilo, A.; Otegui, M.A.; Vega, C.R.C. 2000. Responses of maize kernel number to plant density in

Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Research*. 68: 1-8.

19. El-Hendawy, S.E.; El-Lattief, E.A.A.; Ahmed, M.S.; Schmidhalter, U. 2008. Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. *Agricultural Water Management*. 95 (7): 836-844.
20. Espinosa Trujillo, E.; Mendoza Castillo, M. C.; Otriz Cereceres, J. 2004. Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz, bajo dos densidades de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(no.esp. 1): 39-41.
21. Fassio, A.; Carriquiry, A.I.; Tojo, C.; Romero, R. 1998. Maíz; aspectos sobre fenología. Montevideo, INIA. pp. 6-10 (Serie Técnica no. 101).
22. Giménez, L. 2000. Efecto del riego sobre el rendimiento y calidad de algodón y maíz. *In: Seminario Investigación Aplicada (2000, Las Brujas, Canelones)*. Trabajos presentados. Montevideo, PRENADER. s.p.
23. \_\_\_\_\_. 2012. ¿Cuánto estamos perdiendo por no regar cultivos en Uruguay? *In: Seminario Internacional de Riego en Cultivos y Pasturas (2º, 2012, Salto, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Boscana. pp. 33-41.
24. Gordón, R.; González, A.; Franco, J.; De Garcia, N.; Herrera, A.; Raun, W. 1992. Evaluación de dosis y métodos de aplicación de azufre y su efecto residual en el cultivo de maíz en dos localidades de Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*. 3: 52-56.
25. Hashemi, A.M.; Herbert, S.J.; Putnam, D.H. 2005. Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal*. 97(3): 839-846.
26. Hassanein, M.K.; Abdrabbo, M.A.; Farag, A. A. 2007. Effect of different nitrogen levels on productivity of three maize hybrids fertirrigation. *Journal of Agriculture Science*. 15(2): 361-368.
27. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY); INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2013. Resultados experimentales de la

evaluación nacional de cultivares de maíz para grano y maíz para silo. Montevideo, INIA. 60 p.

28. Jamshidi, A.R.; Mahmoodzadeh, M.; Tayari, E. 2012. Effects of different levels of drip irrigation (tape) and plant density on yield and yield components of corn in one-row and two-row cultivation in North of Khozestan, Iran. *Advances in Environmental Biology Journal*. 6(1): 314-318.
29. Larios, L.; Quemé, J.L.; Zea, J.L.; Pérez, C.; Castellanos, S.; Bolaños, J. 1997. Respuesta a densidad de siembra y niveles de nitrógeno de tres cultivares de maíz evaluados en tres localidades de Guatemala. *In*: Bolaños, J. ed. Síntesis de resultados experimentales 1993-1995. Guatemala, CIMMYT. pp. 95-100.
30. Liu, W.; Tollenaar, M.; Stewart, G.; Deen, W. 2004. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. *American Society of Agronomy*. 96: 275–280.
31. López Santillán, J.A.; Reyes Méndez, C. A.; Castro Nava, S.; Briones Encinia, F. 2004. Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(1): 23-26.
32. Luque, F.S.; Cirilo, A.G.; Otegui, M.E. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Research*. 95: 383-397.
33. Masino, A.; Madoery, O.; Conde, B.; Puentes, A. 2011. Respuesta del cultivo de maíz a dosis crecientes de nitrógeno; campaña 2010/2011. INTA. Maíz, Informe de Actualización Técnica no. 19: 93-100.
34. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2013. Anuario 2012. Montevideo. pp. 85-89.
35. Munaro, E.M.; D'Andrea, K.E.; Otegui, M.E.; Cirilo, A.G.; Eyhéabide, G.H. 2011. Heterotic response for grain yield and ecophysiological related traits to nitrogen availability in maize. *Crop Science*. 51: 1172-1187.

36. Oliveira Medici, L.; Ballesteiro Pereira, M.; John Lea, P.; Antunes Azevedo, R. 2005. Identification of maize lines with contrasting responses to applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*. 28: 903-915.
37. Olmos, M.; Menéndez, F. 2005. Efectos de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de cultivos de maíz sembrados con diferentes densidades. *In: Congreso Nacional de Maíz (8º., 2005, Rosario, Santa Fe, Argentina). Actas. Buenos Aires, s.e. pp. 97-100.*
38. Otegui, M.E.; Melón, S. 1997a. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize; I. Sowing date effects. *Crop Science*. 37: 441-447.
39. \_\_\_\_\_. 1997b. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize; II. Plant population effects. *Crop Science*. 37: 448-455.
40. \_\_\_\_\_.; Bonhomme, R. 1998. Grain yield components in maize; I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research*. 56(3): 247-256.
41. \_\_\_\_\_. 2010. Estrés hídrico y golpe de calor en maíz: Análisis ecofisiológico de su incidencia en la productividad del cultivo. *In: Congreso Nacional de Maíz. (9º., 2010, Rosario, Santa Fe, Argentina). Actas. Buenos Aires, s.e. pp. 28-30.*
42. Pan, W.L.; Kamprath, E.J.; Moll, R.H.; Jackson, W.A. 1984. Prolificacy in corn; its effects on nitrate and ammonium uptake and utilization. *Soil Science Society of America Journal*. 48(5): 1101-1106.
43. Prior, C.L.; Russell, W.A. 1975. Yield performance of nonprolific and prolific maize hybrids at six plant densities. *Crop Science*. 15(4): 482-486.
44. Rossini, M.A. 2006. Estrés abiótico en maíz: Efecto sobre la variabilidad poblacional del crecimiento de las plantas, la partición de biomasa y el desarrollo reproductivos en genotipos contrastantes en su tolerancia a la densidad. Tesis Doctor. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 97 p.

45. Sangoi, L.; Gracietti, M.A.; Rampazzo, C.; Bianchetti, P. 2002. Response of brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Research*. 79: 39-51.
46. Sarlangue, T.; Andrade, F.H.; Calviño, P.A.; Purcell, L. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plants density? *Agronomy Journal*. 99 (4): 984-991.
47. Sarquís, J.I.; González, H.; Dunlap, J.R. 1998. Yield response of two cycles of selection from a semiprolific early maize (*Zea mays* L.) population to plant density, sucrose infusion and pollination control. *Field Crops Research*. 55(1-2): 109-116.
48. Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. 2006. Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. cap. 8, pp. 113-139.
49. Soltero Díaz, L.; Garay López, C.; Ruiz Corral, J. A. 2010. Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(2): 149-158.
50. Tetio-Kagho, F.; Gardner, F.P. 1988. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. *Agronomy Journal*. 80 (6): 935-940.
51. Thomison, P.R.; Jordan, D.R. 1995. Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. *Journal of Production Agriculture*. 8 (3): 394-400.
52. Tokatlidis, I.S.; Koutsika-Sotiriou, M.; Tamoutsidis, E. 2005. Benefits from using maize density-independent hybrids. *CRA Journal Maydica*. 50: 9-17.
53. UDELAR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY).s.f. Maíz; características morfo-fisiológicas. Montevideo. 16 p.

54. Uhart, S.A.; Andrade, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, y kernel set. *Crop Science*. 35: 1376-1383.
55. \_\_\_\_\_. 2010. Maíz; manejo para ambientes subtropicales con estrés hídrico y térmico. In: Congreso Nacional de Maíz (9º., 2010, Rosario, Santa Fe, Argentina). Actas. Buenos Aires, s.e. pp. 31-33.
56. Vallone, P.; Gudelj, V.; Glarza, C.; Masiero, B.; Ferreira, L.; Canale, A. 2011. Ensayo de densidad y distancia de siembra de maíz. INTA. Maíz, Informe de Actualización Técnica. no. 19: 11-13.