



Universidad Nacional del Nordeste  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Maestría en Producción Vegetal



**Respuesta a la fertilización nitrogenada en tres densidades de siembra de un híbrido precoz de maíz DK 8282 BT (*Zea mays* L.) en la época tardía de siembra en la zona sur de Paraguay**

**Tesis para optar al Título de Magister en Producción Vegetal**

**Tesista:** Ing. Agrop. Aldo Andrés Ortiz Alfonso

**Director:** Ing. Agr. PhD. Marcelo Javier Paytas

## Índice general

Dedicatoria .....	IV
Agradecimientos .....	V
Resumen .....	VI
Abstract .....	VII
Introducción .....	1
Hipótesis.....	6
Objetivos.....	6
Objetivo General .....	6
Objetivos específicos .....	6
Materiales y Métodos.....	7
Sitio experimental.....	7
Diseño de experimentos, determinaciones y variables .....	7
Variables medidas.....	8
Altura de planta, índice de área foliar, intercepción de la radiación solar e índice de clorofila.....	8
Rendimiento y sus componentes, eficiencia agronómica del N. ....	8
Análisis de datos .....	8
Resultados.....	10
Datos meteorológicos.....	10
Índice de verdor .....	14
Análisis de correlación y MANOVA .....	22
Discusión .....	27
Conclusiones .....	32
Contraste con la hipótesis.....	33
Bibliografía.....	34
Anexo .....	38

## Índice de Tablas

Tabla 1. Promedios del efecto de la densidad de plantas y dosis de N para las variables, altura de plantas, (AP) índice de área foliar (IAF) y radiación solar interceptada (RSI) en los momentos V6, V14 y R4.....	12
Tabla 2. Índice de verdor de la hoja principal y segunda hoja desplegada del maíz y eficiencia agronómica de N en tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.....	15
Tabla 3. Promedios del efecto de la densidad de plantas y dosis de N para las variables, índice de prolificidad (IP), diámetro de espiga (DE), número total de granos por espiga (NTG*Esp), peso de mil semillas (PMS), rendimiento de granos (RTO) y Eficiencia agronómica de N (EAN).....	16
Tabla 4. Materia seca (V8) en tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.....	21
Tabla 5. Matriz de correlación total del conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.....	23
Tabla 6. Matriz de correlación total del conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.....	24
Tabla 7. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.....	25
Tabla 8. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.....	25
Tabla 9. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.....	25
Tabla 10. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.....	25

## Índice de figuras

Figura 1. Evolución de las temperatura mínima, máxima y media durante la campaña 2015 en Encarnación (Paraguay). Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.....	10
Figura 2. Evolución de las temperatura mínima, máxima y media durante la campaña 2016 en Encarnación (Paraguay). Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.....	10
Figura 3. Precipitación mensual campaña 2015 y 2016. Encarnación, Paraguay. Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.....	11
Figura 4. Heliofanía mensual campaña 2016. Encarnación, Paraguay. Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.....	11
Figura 5. Índice de área foliar en R1, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).....	13
Figura 6. Radiación solar interceptada en los momentos V6, V14 y R4, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).....	14
Figura 7. Porcentaje de radiación solar interceptada en distintos momentos fenológicos en función a distintas densidades de siembra. Encarnación, Paraguay, año 2015.....	15
Figura 8. Índice de prolificidad, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).....	17
Figura 9. Número total de granos por espigas, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).....	18
Figura 10. Peso de mil semillas, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).....	18
Figura 11. Rendimiento de grano (2015), efecto de cuatro dosis de N.....	19
Figura 12. Rendimiento de grano (2015), efecto de tres densidades de plantas.....	19
Figura 13. Rendimiento de grano (2016), efecto de cuatro dosis de N.....	20
Figura 14. Rendimiento de grano (2016), efecto de tres densidades de plantas.....	20
Figura 15. Rendimiento de grano, efecto de tres densidades de plantas.....	21
Figura 16. Materia seca (MS), efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).....	22

**Dedicatoria**

*A mis hijos Alejandro y Eduardo  
A mi madre, Trinidad  
A la memoria de mi padre*

## **Agradecimientos**

A Dios, por darme la fortaleza y bendición en todo momento.

A mi tutor Dr. Marcelo Paytas, por transmitirme todos sus conocimientos, por mostrarme que lo científico y técnico no se separa de lo humano.

Al Dr. Pedro Sansberro, por todo el apoyo en los momentos más decisivo del curso.

A Noelia, por todo su apoyo, comprensión y cariño.

A los compañeros de curso, que siempre se comportaron como amigos, a todos ellos gracias.

Al Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO) por la beca facilitada para el curso.

A la Ing. Agr. Lidia Quintana, por todo su apoyo.

Al Dr. Felipe Viedma por siempre alentarme y apoyarme.

A Marco Maidana, por el aliento para afrontar el desafío.

## Resumen

En el sur de Paraguay existe escasa información acerca de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada y a las variaciones en la densidad de plantas durante la fecha alternativa de siembra. Se realizaron dos experimentos en los años 2015 y 2016 en el campo experimental del Centro de Investigación Pecuaria de Itapúa (CIPI). Como tratamientos se evaluaron distintas densidades de siembra (30.000, 50.000 y 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>) y distintas dosis de nitrógeno (N) (0, 50, 150 y 220 kg ha<sup>-1</sup>). Las variables evaluadas fueron: altura de planta, índice de área foliar (IAF), porcentaje de radiación solar interceptada, índice de verdor, diámetro de espiga, número de hileras de grano, número de granos por hileras, número total de granos, peso de 1000 grano, rendimiento de grano y la eficiencia agronómica del N (EAN). El índice de verdor fue afectado principalmente por las dosis de N tanto en la hoja principal como en la segunda hoja desplegada; el IAF aumentó por efecto de la densidad; los mayores valores de interceptación de radiación solar se alcanzaron con alta densidad combinado con dosis alta de N. El rendimiento y sus componentes fueron influenciados principalmente por la variación de la densidad de siembra y aplicación de dosis creciente de N. Según esta investigación, los mayores rendimientos en siembras tardías en la zona sur de Paraguay se alcanzarían con densidades de 64.215 plantas ha<sup>-1</sup> y fertilización de 220 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** maíz, densidad de siembra, dosis de nitrógeno, época tardía de siembra.

**Abstract**

There is lack of information about the response of maize to nitrogen fertilization and variations in plant density during the alternative sowing season in southern Paraguay. Two experiments were carried out in 2015 and 2016 season in the experimental field of the Livestock Research Center of Itapúa (CIPI). Treatments evaluated were different planting densities (30,000, 50,000 and 80,000 plants ha<sup>-1</sup>) and different levels of nitrogen (N) (0, 50, 150 and 220 kg ha<sup>-1</sup>). The variables evaluated were: plant height, leaf area index (LAI), percentage of intercepted solar radiation, greenness index, ear diameter, number of rows of grain, number of grains per rows, total number of grains, 1000 grain weight, yield grain and N agronomic efficiency (NAE). The greenness index was affected mainly by the levels of N in the main leaf and in the second fully expanded leaf; LAI increased due to density variation; highest values of solar radiation interception were reached with high density and high N level. Yield components were influenced mainly by the variation of the sowing density and increasing N level application. According to this research, the highest yields in late sowings maize in the southern zone of Paraguay would be reached with densities of 64,215 plants ha<sup>-1</sup> and fertilization of 220 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** corn, sowing density, nitrogen level, late sowing season.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una monocotiledónea que botánicamente pertenece a la familia de las Poáceas (gramíneas), tribu Maydeas y es la única especie del género que se cultiva en el mundo. El maíz es una especie clasificada como del nuevo mundo porque su centro de origen es América (Paliwal, 2001). México fue el centro primario de origen, domesticación y dispersión del maíz (Andrade *et al.* (1996) que ocurrió hace más de 6000 años y que las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica donde tuvo lugar el centro secundario, hace más de 5000 años (Reyes, 1990).

Durante las dos primeras décadas del Siglo XXI según datos de la FAO (2018), en el año 2006 la superficie de maíz sembrada en el mundo alcanzó más de 148 millones trecientas mil hectáreas con una producción total que superó 707 millones novecientas mil toneladas, en el año 2016 se sembró más de 197 millones de hectáreas y una producción de más de 1.134 millones de toneladas. El maíz aumentó en superficie producida durante los últimos años como también en su productividad, con rendimientos que van desde 4,7 t ha<sup>-1</sup> en el 2006 a 5,75 t ha<sup>-1</sup> en el 2016.

En el Paraguay en el año 2006 se cultivó un total de 430 mil ha con una producción total de 2 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 4,65 t ha<sup>-1</sup>. En 2018 se sembró un total de 760.000 ha que alcanzó una producción total de 4 millones doscientas mil t con un rendimiento promedio de 5,52 t ha<sup>-1</sup>. En el país la tendencia coincide con la observada a nivel mundial, donde el maíz experimenta tanto aumentos de superficie sembrada como en los promedios de rendimiento por hectárea (CAPECO, 2018).

La productividad del maíz en América tropical ha presentado problemas principalmente en lo referente a la productividad que se atribuye a la degradación de los suelos, uso de variedades con bajo potencial de rendimiento o el uso inadecuado de híbridos con potencial alto de rendimiento. Los rendimientos del maíz podrían incrementarse con un adecuado uso de la tecnología y un mejor manejo de las densidades de plantas y la nutrición del cultivo (García & Espinosa, 2009).

Respecto al aspecto agronómico, Andrade *at al.*, (1996), mencionan que el maíz es una planta que presenta poca plasticidad foliar, poco macollaje y escasa prolificidad, razón por la cual es un cultivo que tiene poca capacidad de compensar bajas densidades. Además, tiene alta sensibilidad a los factores ambientales, condición que lo limita y lo vuelve poco tolerante al aumento de la densidad poblacional y atrasos en las fechas de siembra.

En los cultivos, la respuesta al uso de los fertilizantes es función del balance entre la demanda de nutrientes y la oferta de los mismos. La demanda de un nutriente está determinada por el rendimiento del cultivo. Esta demanda de los nutrientes se construye durante todo el ciclo del cultivo y es producto de la captura de recursos (radiación solar, agua y nutrientes), que luego son transformados en biomasa y rendimiento (Salvagiotti, 2016).

Uno de los parámetros más importantes para explorar rendimientos potenciales de maíz es la elección de la fecha de siembra. Dado que la ubicación temporal de las etapas fenológicas es modificada de acuerdo a la época de siembra elegida, se debe planificar la siembra que permita ubicar el periodo crítico en coincidencia con una mayor oferta de la radiación solar y un ambiente térmico favorable (Espósito *et al.*, 2015). La fecha de siembra modifica el ambiente térmico y la radiación solar incidente durante las distintas

fases fenológicas del cultivo y produce cambios en la misma, así como puede producir cambios en el crecimiento e índice de cosecha (Andrade *et al.*, 1996).

Las siembras de maíz en fecha tardía en la Argentina de acuerdo a Ferraguti (2013) permiten reducir los riesgos climáticos del cultivo, sin dejar de considerar que existe una pérdida de rendimiento potencial y mayor exposición a plagas y enfermedades en las épocas tardías de siembra. De acuerdo a lo expresado por Pessina *et al.* (2018), las fechas de siembra tardía del maíz resigna el rendimiento potencial del cultivo, el rendimiento de grano y la estabilidad de rendimiento. Conforme a lo expuesto por Pautasso *et al.* (2018) en Entre Ríos Argentina, fechas de siembra retrasadas disminuyen el rendimiento en comparación con maíces sembrados en fechas tempranas; así mismo, cuando el maíz es sembrado en fechas tempranas la respuesta al agregado de fertilizantes nitrogenados es mejor y presenta mayor eficiencia de uso de N comparado con maíces tardíos.

La densidad de plantas es un aspecto esencial en la agronomía del cultivo de maíz. Además de asegurar la intercepción eficiente de la radiación solar incidente sobre el cultivo, modifica la partición de materia seca entre destinos estructura vegetativas y reproductivas (Andrade *et al.*, 1996). En consecuencia, el rendimiento final del grano del cultivo puede ser influenciado incluso por pequeñas variaciones en la densidad de siembra (Pereira & Cruz, 2002). En el maíz surge la necesidad de ajustar la densidad de plantas ya que en condiciones de menor oferta lumínica y disponibilidad hídrica se debe disminuir la cantidad de plantas por hectárea (Proot *et al.*, 2011).

De acuerdo a lo expresado por Videla *et al.*, (2014), es necesario realizar un manejo de la densidad de plantas de acuerdo a los ambientes considerados tratando de diferenciar ambientes de baja a alta productividad; los rendimientos son significativos cuando se aumenta la densidad de plantas en ambientes con alto potencial productivo. En ambientes considerados de alta productividad en la Argentina, la densidad optima varió entre 70.000 a 80.000 plantas por hectárea en comparación con ambientes considerados de baja productividad donde las densidades optimas variaron entre 45.000 a 50.000 plantas por hectárea.

Conforme a lo manifestado por Diez & Sardiña (2017) en General Villegas, Argentina, al aumentar la densidad de plantas desde 3,7 a 7,8 pl m<sup>2</sup> el maíz aumentó la producción de materia seca sin que el rendimiento presente un techo.

La fertilización y la densidad poblacional se consideran como dos factores que pueden ser controlado y combinados para la obtención de mejores rendimientos en los cultivos. En maíz estos factores ejercen influencia significativa sobre los componentes de rendimientos (Tosquy Valle *et al.*, 1998).

El maíz evidencia disminución en el rendimiento a medida que la fecha de siembra se aleja de las fechas normales de siembra. En Paraná, Brasil, Shioga *et al.* (2004) expresan que esta disminución se puede atribuir a que en siembras tardías se expone al cultivo a una disminución en la temperatura, radiación y cantidad de precipitaciones. Los mismos autores mencionan que se observaron influencia de distintas densidades de siembra sobre la productividad de grano en distintas localidades siendo superiores los rendimientos cuando se aumentaron las densidades desde 33.000 a 55.000 plantas por hectárea. Al evaluar la interacción entre distintas densidades de siembra y dosis de N encontraron que existe interacción significativa, sugiriendo que la combinación de estos dos factores puede elevar el rendimiento de grano del maíz.

En San Pablo, Brasil Ribeiro do Amaral Filho *et al.* (2005) realizaron experimentos con el objetivo de evaluar la influencia del espaciamiento entre hileras, densidad poblacional

y dosis de N en el cultivo de maíz. El mayor rendimiento de grano se obtuvo con altas dosis de N y alta densidad de plantas con el mayor espaciamiento entre hileras. Similarmente, Von Pinho *et al.* (2008) en Brasil encontraron que aumentos en la densidad de siembra resultó en incrementos de la altura de plantas y el rendimiento de grano del maíz.

En Brasil al evaluar el efecto de la combinación de distintas densidades de siembra del maíz (40, 60, 80 y 100 mil plantas por hectárea) y distintas dosis de N (0, 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) Piazzoli *et al.* (2012) encontraron que la altura de planta y la altura de inserción de la mazorca aumenta con el incremento de la densidad de siembra. La interacción de las densidades y las dosis de N tuvo influencia sobre la productividad del maíz; así, la combinación de 8 plantas por m<sup>2</sup> y una dosis de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N permiten obtener los mayores rendimientos.

Al evaluar distintas dosis de N y diferentes poblaciones de plantas de maíz por unidad de superficie en el Brasil, Alievi & Zanão (2017) evaluaron la interacción entre densidades de siembra de maíz (40, 52, 64, 76, 88, y 100) mil plantas por hectárea y dosis de N de 80, 160, 240 y 320 kg ha<sup>-1</sup>. La mayor densidad de siembra permitió el mayor rendimiento de grano, sin interacción significativa entre las distintas densidades de siembra y las distintas dosis de N evaluadas en el experimento.

En el maíz es necesario realizar un ajuste de la densidad de siembra y dosis de N considerando a ambos en conjunto y no de manera individual. Dosis altas de N y altas densidades de plantas permitieron maximizar los rendimientos en Córdoba Argentina donde se evaluaron distintas dosis de N y distintas densidades de siembra (Ruiz *et al.*, 2018).

En Paraná Brasil, Carmo *et al.* (2014) evaluaron los componentes de producción, tenor de nitrógeno en el tejido foliar y la productividad de grano del cultivo de maíz en función a espaciamiento entre hileras (0,45 y 0,90 m), densidad de plantas (60 y 80 mil plantas ha<sup>-1</sup>) y dosis de nitrógeno (80, 100, 120 y 140 kg ha<sup>-1</sup> de N). Los mismos indican que los componentes de la producción aumentan con mayor densidad poblacional y aumento en la dosis de N, el tenor de clorofila en la hoja y el rendimiento aumentan con la aplicación de N en cobertura para los dos espaciamientos entre hileras; una disminución en el espaciamiento entre hileras permite la obtención de productividad superior para las condiciones del experimento citado.

En Corrientes Argentina, Balbi *et al.* (2014) al evaluar el efecto de cultivares de maíz pisingallo sembrados en distinta densidad de siembra, en fechas de siembra distinta (tempranas y tardías), mencionan que el rendimiento de los híbridos fue afectado de manera significativa, según genotipo, densidad de plantas y fecha de siembra. Las altas densidades permitieron el incremento del rendimiento, sin embargo, las fechas de siembra tardía redujeron el rendimiento hasta 39%.

Evaluación de la fertilización nitrogenada en cobertura en dos híbridos de maíz sembrado en distinta densidad poblacional, Cruz Mendes *et al.* (2013), realizaron en experimentos en Paraná Brasil. Los mismos expresan que la altura de plantas presentó interacción triple para los efectos evaluados. La densidad de 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> con dosis de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N presentaron mayores valores de altura de plantas, mientras que densidad de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup> con 0 kg ha<sup>-1</sup> de N presentó menor altura de plantas. El rendimiento de los híbridos con relación a las densidades fue distinto entre los genotipos; cuando se aplicó 240 kg ha<sup>-1</sup> de N aumentó el rendimiento en los híbridos independientemente a las densidades. Los mismos autores concluyen que la fertilización nitrogenada y las densidades influyen de manera significativa y positiva los caracteres agronómicos.

En México, Contreras *et al.* (2012) evaluaron el efecto de la fecha de siembra, la densidad de población y la disponibilidad de N, sobre la radiación interceptada, eficiencia en el uso de la radiación y el rendimiento de grano en tres híbridos de maíz. Los mismos mencionan que incrementos de 30 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de N aumentó la radiación interceptada en 19% durante la floración y 12% durante todo el ciclo del cultivo. Incrementos de la densidad de siembra de 6,25 a 9,25 plantas m<sup>2</sup> incrementó la radiación interceptada en 11% durante la floración y 7% durante el ciclo del cultivo. Los mismos concluyen que tanto el incremento de la dosis de N como de la densidad poblacional aumenta la radiación interceptada por el cultivo; esta condición mejora el crecimiento del cultivo para fijar mayor número de grano por unidad de superficie.

La productividad de grano y la eficiencia de uso de N en híbridos de maíz sometidos a distintas densidades de población y distintas dosis de N en Brasil fue evaluada por Borghi *et al.*, (2016). Los mismos manifiestan que el tenor de clorofila medido con SPAD a los 14 días después de la emergencia de la planta solo fue influenciado por los híbridos, mientras que las dosis y las densidades no influenciaron el tenor de clorofila en dicho momento. La misma tendencia fue observada a los 42 días después de la emergencia. Sin embargo, al evaluar el tenor de clorofila en el estado V10 todos los factores (híbridos, dosis de N y densidad) influenciaron el tenor de la misma. La densidad 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> presentó 50,98 y la densidad 70.000 plantas ha<sup>-1</sup> 49,06. Al aumentar la dosis de N aumentó linealmente el tenor de clorofila en la hoja. La eficiencia de uso del N fue influenciada por las dosis de N aplicado y entre los híbridos, mientras que no fue influenciada por el efecto de las densidades. El rendimiento de grano solo fue influenciado por los híbridos.

En la Argentina, Barbieri *et al.* (2008) realizaron un trabajo en maíz sembrado en siembra directa e irrigado donde evaluaron el efecto de espaciamiento (70, 52 y 35 cm) entre hileras y niveles de N (0 y 180 kg ha<sup>-1</sup>). Niveles de N y surco estrecho aumentaron la materia seca, el rendimiento y el nitrógeno acumulado; con respecto a 70 cm, los espaciamientos entre hileras de 35 y 52 cm aumentaron la eficiencia de uso del N en maíz irrigado con incrementos en materia seca, rendimiento de grano y eficiencia de recuperación de N.

En Nebraska Estados Unidos, estudiaron el efecto de niveles de N, espaciamientos entre hileras y densidad de plantas en el maíz, y encontraron que los niveles de N fueron significativos para el rendimiento de grano, mientras que la interacción N\*densidad no afectó el mismo Shapiro & Wortmann (2006). La mejor respuesta del rendimiento a distintas dosis de N se logró con 84 kg ha<sup>-1</sup> comparados con 168 y 252 kg ha<sup>-1</sup> de N. La mejor respuesta a la aplicación de N fue en alta densidad en combinación con el espaciamiento de 0,51 m entre hileras.

En Paraná, Argentina, evaluaron distintos híbridos en dos épocas de siembra (tardía y convencional) con dos niveles de N (0 y 200 kg ha<sup>-1</sup> N). En ambas fechas de siembra obtuvieron significancia estadística. Fechas tardías de siembra mostraron menor rendimiento de grano del maíz; con respecto a la dosis de N obtuvieron mejor rendimiento con 200 kg ha<sup>-1</sup> en comparación con 0 kg ha<sup>-1</sup> en las dos épocas de siembra y en todos los híbridos evaluados. Mayor disponibilidad de N en siembra tardía comparado a época de siembra tradicional reduce la respuesta del rendimiento a la fertilización con N (Caviglia *et al.*, 2014).

En China, un trabajo realizado por Yan *et al.* (2017) evaluaron el efecto la densidad de siembra y dosis y momento de aplicación de N en el maíz. Los mismos indican que la densidad de siembra consistente en 6 plantas m<sup>-2</sup> (baja) en comparación con 7,5 (media) y 9 (alta) plantas m<sup>-2</sup> disminuye la producción de biomasa, el índice de área foliar del maíz en VT y R3 fue menor en la densidad baja seguida por la densidad media y mayor

en la alta densidad. El rendimiento del maíz disminuye en la densidad baja, debido a una menor acumulación de biomasa y disminución del índice de área foliar.

De acuerdo a lo manifestado por Uhart *et al.* (2018) en la Argentina es escasa la información acerca de la respuesta del maíz mejorado genéticamente y su ganancia de rendimiento en siembras tardías. Mencionan que la ganancia genética y de rendimiento del maíz sembrado en fechas tardías deben de analizarse considerando su interacción con la densidad poblacional y la disponibilidad de N. Los mismos autores, al evaluar el efecto del mejoramiento genético en el maíz sembrado en fechas tardías y su interacción con distintos niveles de N y distintos híbridos en Córdoba Argentina mencionan que, el rendimiento en grano fue significativo para los efectos de N en distintos niveles, híbridos y las densidades de siembra sin presentar interacción entre los factores evaluados.

En Estados Unidos, Santoro (2018) realizó estudio de la respuesta del maíz a diferentes densidades de siembra y dosis de N concluyendo que altas densidades combinadas con altas dosis de N maximizan el rendimiento principalmente influenciado por el número de granos. No obstante, el peso de grano disminuye cuando se aumenta la densidad incluso con alta dosis de N.

## **Hipótesis**

Incrementos en la oferta de N producen mayor crecimiento y rendimiento del híbrido de maíz DK 8282 BT triple, en densidades intermedias-altas en la época tardía de siembra en el Sur de Paraguay.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Estudiar el efecto de la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del maíz en fecha de siembra tardía.

### **Objetivos específicos**

- Analizar el efecto de diferentes densidades de siembra y dosis de N sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo maíz en siembras tardías.
- Examinar los componentes de rendimiento en función de diferentes densidades de siembra y fertilización nitrogenada.

## **Materiales y Métodos**

### **Sitio experimental**

Se realizaron experimentos en el distrito de San Juan del Paraná departamento de Itapúa, Paraguay (27,26° latitud sur; 55,97 longitud oeste) durante dos años 2015 y 2016 (experimentos) correspondientes a la fecha tardía de siembra. El primer año fue sembrado el 28 de enero, mientras que el segundo año fue sembrado el 29 de enero.

Los experimentos se sembraron en suelo perteneciente al grupo Kandiodox del orden Udox caracterizado por un alto contenido de arcilla (40 %). El sub grupo al que pertenece es Typic Kandiodox, desarrollado sobre roca de origen basáltico, con topografía ondulada y pendiente entre 3 y 8% (López *et al.*, 1995).

Los resultados del análisis químico del suelo para profundidad de 0-20 y 20-40 fueron 6,3 y 6,7 (pH), 9,6 y 4,6 (P, ppm), 2,8 y 4,2 (Ca, cmol/kg), 0,2 y 0,6 (Mg, cmol/kg), 0,55 y 0,09 (K, cmol/kg), 0,54 y 0,14 (Na, cmol/kg), 1,51 y 0,43 (materia orgánica, %) , 0,87 y 0,25 (CO<sub>2</sub>, %), 0,08 y 0,02 (NT, %) y 0,08 y 0,02 (CE, Mmol/cm).

Los experimentos se condujeron bajo sistema de manejo agronómico convencional. Previo a la siembra, se procedió al encalado con 1.600 kg ha<sup>-1</sup> de cal agrícola dolomítica distribuidos en dos aplicaciones de 800 kg ha<sup>-1</sup> cada una. En ambas aplicaciones se realizó una pasada de subsolador de suelo y nivelación con disco liviano.

La siembra se realizó con sembradora manual depositando dos semillas por hoyos y posterior raleo (10 días después de la emergencia de las plantas) para dejar una sola planta.

El control de maleza se realizó mediante la aplicación de herbicidas atrazina + zimasina en dosis de 4,5 l ha<sup>-1</sup> durante el estado fenológico Vn para el control de malezas de hoja ancha y fina. En los estadios más avanzados se aplicó glifosato (48%) en una dosis de 2,5 l ha<sup>-1</sup>.

La aplicación de fertilizantes se realizó de forma manual, con dosis de 96 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 72 kg ha<sup>-1</sup> de potasio teniendo en cuenta los resultados de los análisis de laboratorio.

El híbrido sembrado fue DK 8282 VT Triple (tropical por templado), de ciclo precoz.

### **Diseño de experimentos, determinaciones y variables**

El diseño experimental fue parcelas divididas con tres repeticiones, como parcela principal fueron consideradas las densidades de siembra D1: 30.000, D2: 50.000 y D3: 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> y cuatro dosis de N (0, 50, 150 y 220 kg ha<sup>-1</sup> de N) considerados sub parcelas.

Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 hileras de 6 m de longitud con una separación entre sí de 0,45 m, mientras que el espaciamiento entre plantas varió de acuerdo a cada densidad evaluada. Para los muestreos se destinaron las dos hileras centrales, de los mismos se descartaron la primera planta de la cabecera de cada unidad experimental para evitar el efecto borde.

## Variables medidas

Para el momento de medición de las variables se utilizó la escala fenológica propuestas por Ritchie y Hanway (1982)

### Altura de planta, índice de área foliar, intercepción de la radiación solar e índice de clorofila.

Al momento de la floración femenina se marcaron con cintas 5 plantas con competencia completa en cada unidad experimental, se midió la altura de planta desde la base (primer nudo) hasta el último nudo de la planta. En los mismos se contó cantidad total de hojas, largo y ancho (m) de la hoja ubicada debajo de la espiga y se multiplicaron por 0,75 de acuerdo a la fórmula propuesta por (Montgomery 1911) para el área foliar (AF) del maíz.

A partir del AF se determinó el índice de área foliar (IAF) mediante la metodología utilizada por Soares (2003):

$$IAF = \frac{AF (m^2)}{esp1 \times esp2} ,$$

**donde** esp1 es el espaciamiento entre plantas en metros y esp2 es el espaciamiento entre hileras en metros.

La radiación solar interceptada (RSI) se estimó en tres etapas fenológicas del cultivo (V6, V14 y R3), mediante el uso de un ceptómetro ubicado al tope de la canopeo y a 15 cm del suelo en el medio de la hilera central en cada unidad experimental y se expresaron en porcentaje de intercepción de la radiación solar.

La medición del índice de verdor (IV) se realizó en el estado fenológico R3 mediante un medidor portátil de clorofila SPAD (Konica Minolta). Se realizaron dos lecturas en la hoja principal ubicada debajo de la espiga y en la segunda hoja desplegada en el ápice en + tres plantas con competencia completa marcadas en cada unidad experimental.

### Rendimiento y sus componentes, eficiencia agronómica del N.

Para determinar el rendimiento (RTO) se cosecharon los experimentos en fecha 5 de junio del 2015 (primer año) y 10 de junio del 2016 (segundo año), la cosecha se realizó manualmente de las plantas de las dos hileras centrales, mediante trilladora estática se trillaron todas las espigas y se determinó la humedad de grano, el rendimiento final se determinó mediante la fórmula propuesta en el (Manual de Determinación de Rendimiento 2012) ajustando la humedad a 12 %.

$$RTO (kg ha)^{-1} = \frac{\text{peso de campo} - \text{cantidad de humedad}}{\text{area util (m)}} \times 10$$

Se midió el diámetro de espiga (DM) en cinco espigas en la parte media de los mismos, así mismo se determinó el número de hileras de grano (NHi), número de granos por hileras (NGHi), el número total de granos por espiga (NTG\*Esp) se obtuvo del producto de NHi por el NGHi.

La eficiencia agronómica del N (EAN) se determinó mediante la fórmula EAN: (Rendimiento del tratamiento-Rendimiento del testigo) / dosis de N aplicado al tratamiento, propuesta por (García & Espinosa, 2009).

### Análisis de datos

El análisis individual de las variables se realizó empleando el Análisis de Varianza (ANOVA); las variables con diferencia significativa fueron sometidas a la comparación

de media empleando el Test de Duncan. La función de ajuste para el rendimiento de grano fue ecuación cuadrática.

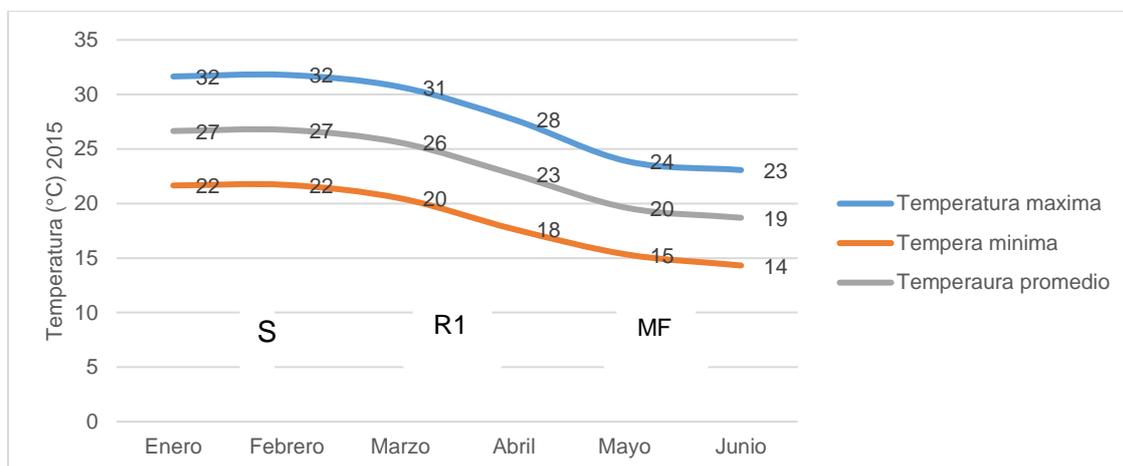
Se realizó análisis multivariado al conjunto de las variables evaluadas, consistente en MANOVA y matriz de correlación total.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

## Resultados

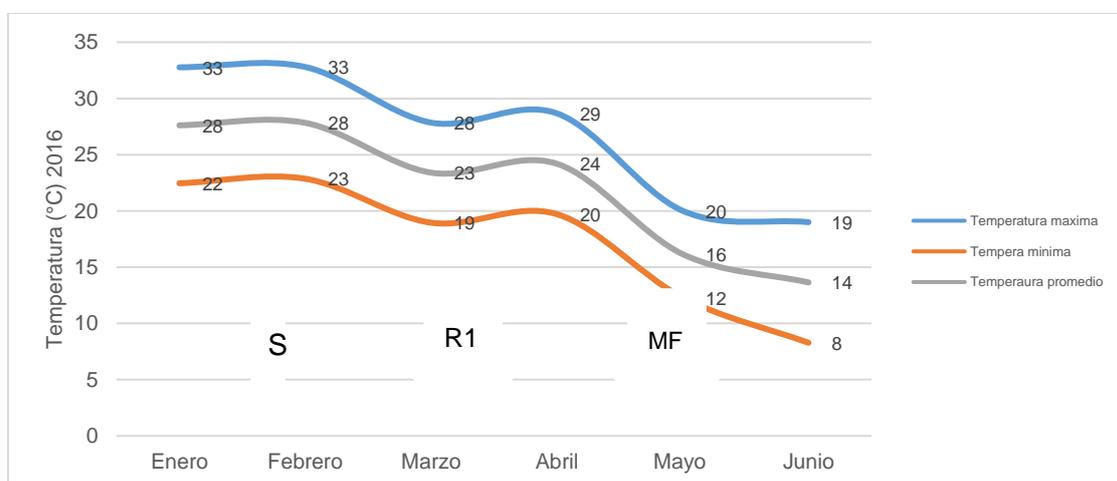
### Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se presentan en las siguientes figuras: temperatura máxima del aire, mínima y promedio del año 2015 (Figura 1), temperatura máxima, mínima del aire y promedio del año 2016 (Figura 2), precipitación mensual año 2015 y 2016 (Figura 3) y heliofanía mensual año 2016 (Figura 4).



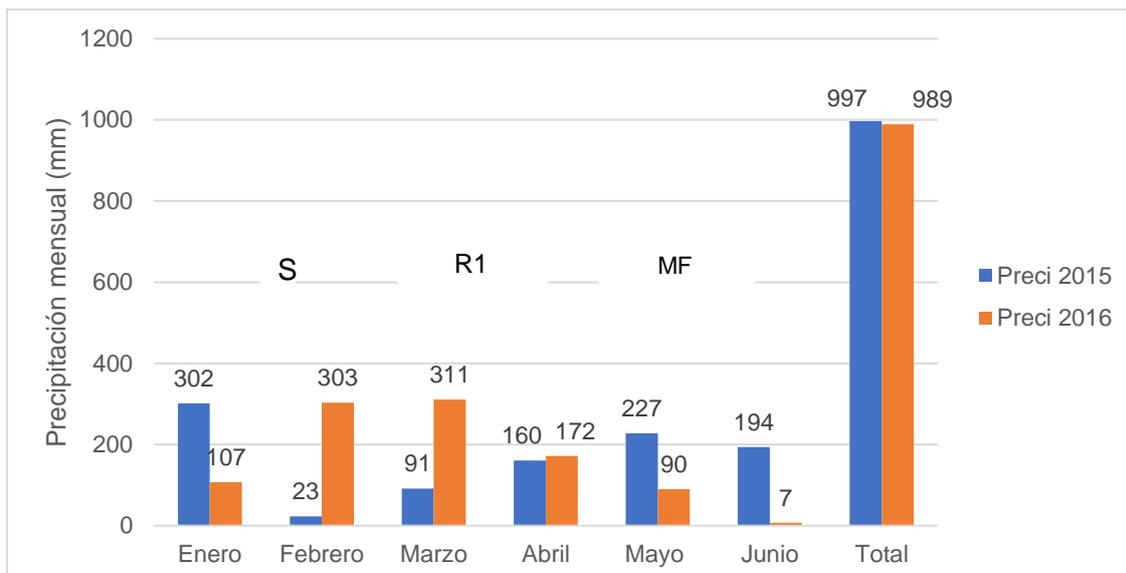
**Figura 1.** Evolución de las temperatura mínima, máxima y media durante la campaña 2015 en Encarnación (Paraguay). Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.

En el año 2015, la temperatura máxima varió entre 32 y 23 °C para los meses de enero y junio respectivamente, mientras que la temperatura mínima presentó valores entre 22 y 14 °C en el mismo periodo del año.



**Figura 2.** Evolución de las temperatura mínima, máxima y media durante la campaña 2016 en Encarnación (Paraguay). Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.

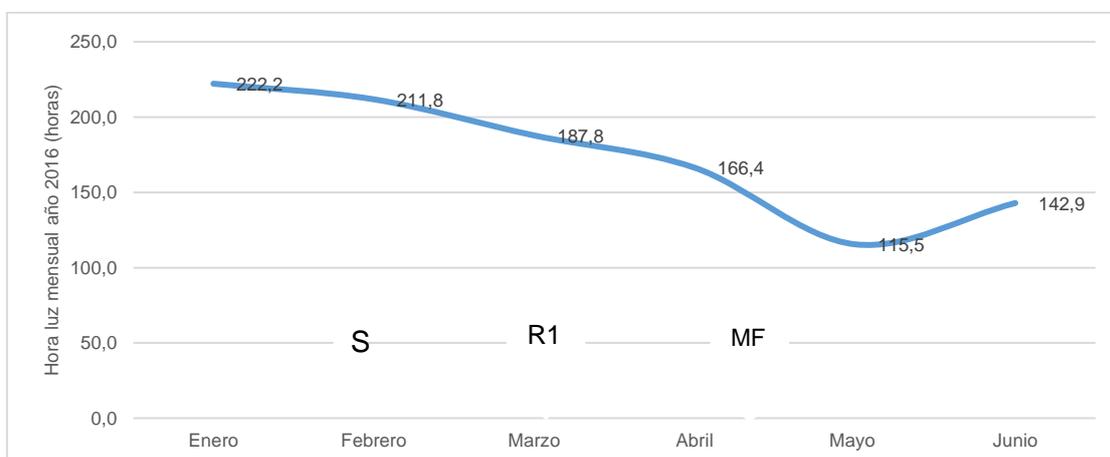
La temperatura máxima en el año 2016, fue de 33 °C en enero mientras que en junio fue de 19 °C, la temperatura mínima fue de 22 y 8 °C para enero y junio, respectivamente.



**Figura 3.** Precipitación mensual campaña 2015 y 2016. Encarnación, Paraguay. Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.

La precipitación mensual en el año 2015 desde el mes de enero a junio, periodo que corresponde a la realización del ensayo, presentó un total acumulado de 997 mm, aunque se observa un comportamiento irregular entre los meses siendo los más lluviosos enero, mayo y junio.

En la segunda campaña correspondiente al ensayo, la cantidad total de precipitación registrada fue de 989 mm. Se observó un comportamiento similar a la primera campaña en relación a la desigualdad de precipitaciones entre meses, con mayor acumulación en febrero marzo y abril.



**Figura 4.** Heliofanía mensual campaña 2016. Encarnación, Paraguay. Referencia, Siembra: S, floración: R1 y madurez fisiológica: MF.

La heliofanía mensual del año 2016 mostró una tendencia a disminuir desde enero a junio. En el último mes del experimento, se registró un total de 79 horas menos de luz solar en la segunda campaña respecto a los meses anteriores.

En la Tabla 1 se presenta los resultados para las variables altura de planta, índice de área foliar y radiación solar interceptada.

Tabla 1. Promedios del efecto de la densidad de plantas y dosis de N para las variables, altura de plantas, (AP) índice de área foliar (IAF) y radiación solar interceptada (RSI) en los momentos V6, V14 y R4.

Año 1	Den	D de N	AP (cm)	IAF (m <sup>2</sup> )	RSI V6 (%)	RSI V14 (%)	RSI R4 (%)
	30000	0	192	2,23	24	65	76
		50	195	2,25	23	64	75
		150	191	2,23	25	64	76
		220	187	2,19	26	70	81
	50000	0	185	3,47	38	74	76
		50	189	3,42	36	68	77
		150	189	3,82	33	61	93
		220	192	3,73	35	78	93
	80000	0	183	4,16	44	77	79
		50	181	4,49	48	79	86
		150	188	5,16	45	85	92
		220	186	5,02	45	84	94
Año 2	30000	0	188	2,23	17	59	79
		50	192	2,17	21	74	78
		150	193	2,17	22	65	79
		220	187	2,17	25	71	82
	50000	0	185	3,5	36	70	77
		50	189	3,43	33	80	83
		150	189	3,8	40	87	95
		220	194	3,7	41	76	95
	80000	0	186	3,97	42	80	78
		50	181	4,5	46	85	87
		150	187	5,23	46	91	94
		220	186	5,1	46	89	94
Promedios							
Año 1			188	3,51	35	72	83
Año 2			188	3,5	35	77	85
30000 pl ha			191	2,21	23	67	78
50000 pl ha			189	3,61	36	74	86
80000 pl ha			185	4,70	45	84	88
0 N			186	3,26	34	71	77
50 N			188	3,38	34	75	81
150 N			189	3,73	35	75	88
220 N			189	3,65	36	78	90
ANOVA							
Año			0,95 <sup>ns</sup>	0,7293 <sup>ns</sup>	0,593 <sup>ns</sup>	0,0295 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>**</sup>
Den			0,18 <sup>ns</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>
D de N			0,83 <sup>ns</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	0,3556 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>
Den * D N			0,74 <sup>ns</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	0,6068 <sup>ns</sup>	0,8479 <sup>ns</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>
Den * Año			0,94 <sup>ns</sup>	0,9268 <sup>ns</sup>	0,1811 <sup>ns</sup>	0,4394 <sup>ns</sup>	0,1467 <sup>ns</sup>
D N * Año			0,99 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,1861 <sup>ns</sup>	0,1022 <sup>ns</sup>	0,1483 <sup>ns</sup>
Den * D N * Año			0,99 <sup>ns</sup>	0,9447 <sup>ns</sup>	0,8563 <sup>ns</sup>	0,3939 <sup>ns</sup>	0,6275 <sup>ns</sup>

\*\* : p valor diferencia altamente significativo, p valor <sup>ns</sup>: diferencia no significativa

La AP no presentó diferencias significativas para los niveles de densidad de plantas y dosis de N evaluadas. Las interacciones tampoco mostraron diferencias significativas viéndose poca variación de la AP antes los tratamientos, la AP varió entre 185 cm con la densidad más alta, por otra parte, alcanzó 191 cm con la densidad baja.

El IAF, presentó diferencias significativas para los efectos de las distintas densidades y las dosis de N, la interacción densidad de plantas por dosis de N fue altamente significativo, el IAF fue más influenciado por el efecto de la densidad de plantas que por el N. Se alcanzó el mayor IAF con la densidad 80000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (4,7), el menor IAF (2,21) se observó con la densidad 30000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

La interacción significativa de la densidad por las dosis de N muestra que el IAF aumenta conforme aumentan la cantidad de plantas por unidad de superficie y la dosis de N.

La RSI en V6 presentó diferencia para el efecto de la densidad de plantas, los demás efectos fueron no significativos, la misma tendencia se observó en el estado V14 donde la diferencia fue significativa para densidad de plantas. Conforme el estado fenológico de la planta mostró otra tendencia, en R4 el p valor mostro efecto para año, densidad, dosis de N y la interacción densidad por dosis de N.

La RSI fue mayor en alta densidad combinado con alta dosis de N en los dos años, en el año 2015 en el momento V14 la RSI alcanzó 85% con la combinación de 80000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, en el momento R4 el mayor RSI (94%) se alcanzó con 80000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y 220  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. La misma tendencia se observó en el año 2016 donde la RSI se mantuvo a lo obtenido en el 2015.

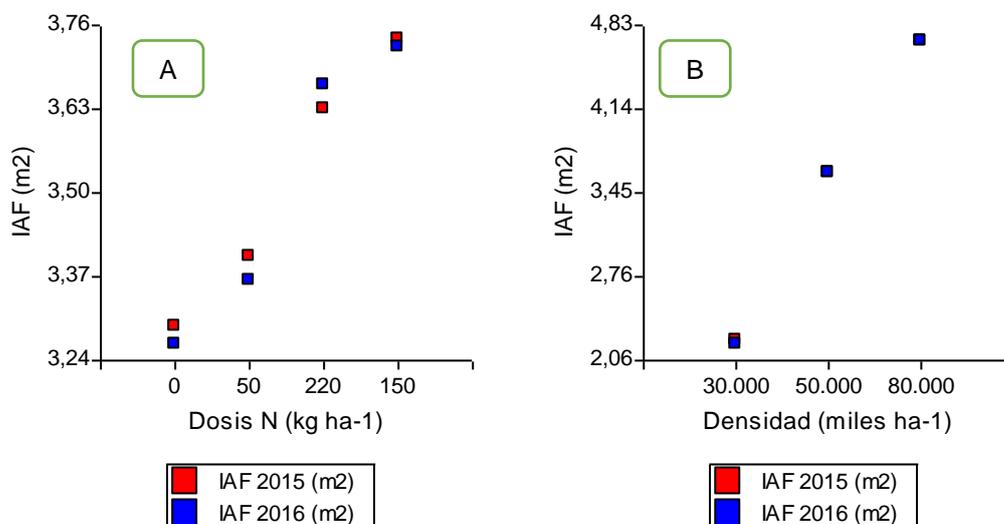


Figura 5. Índice de área foliar en R1, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).

En el año 2015, el mayor IAF se alcanzó con la máxima densidad de siembra evaluada y fue de 5,17 para el tratamiento 80.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en combinación con 220  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, mientras que en el año 2016 el mayor IAF se alcanzó con la misma densidad en combinación con 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N.

La combinación de alta densidad de siembra y altas dosis de N aumentan de manera significativa el IAF del maíz en comparación a bajas densidades de siembra. La densidad baja aun con aplicación de alta dosis de N no aumenta el IAF.

La densidad 50.000 plantas por hectárea mostró un comportamiento intermedio entre las densidades bajas y altas con relación al IAF.

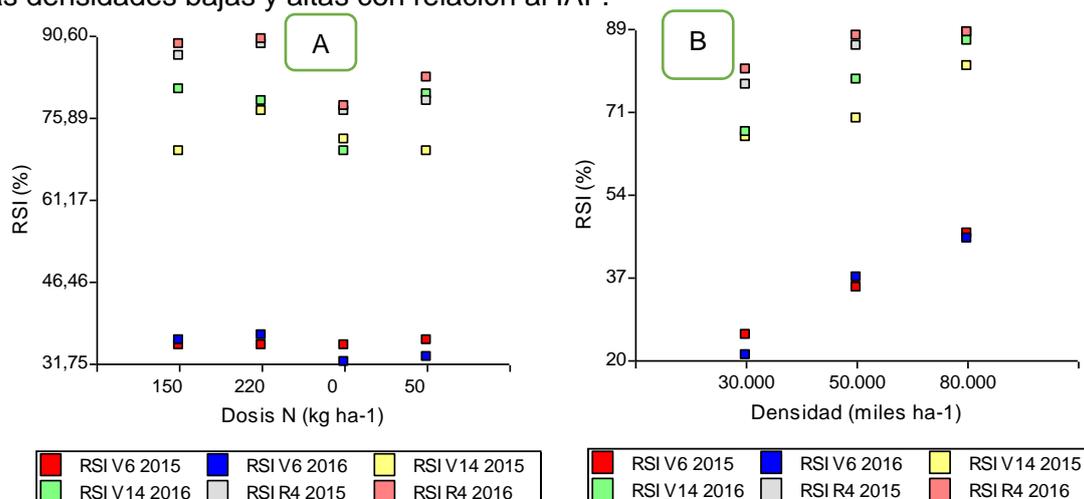


Figura 6. Radiación solar interceptada en los momentos V6, V14 y R4, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).

En todos los casos, el porcentaje de intercepción de la radiación estuvo por debajo del valor crítico (95 %), sin embargo, ante el incremento de la densidad y la dosis de N en estadios avanzados del cultivo, se observaron valores superiores al 90% en ambas campañas.

### Índice de verdor

Los promedios de índice de verdor en la hoja principal (hoja ubicada debajo de la espiga) y la segunda hoja desplegada (en el ápice de la planta) realizado en el estado fenológico R3 se presentan en la Tabla 2. El ANOVA para el índice de verdor en la hoja principal no presentó diferencias significativas entre las distintas densidades de siembra, mientras que el efecto del N y la interacción densidad por N mostró diferencias altamente significativas.

El índice de verdor medido en la segunda hoja desplegada no presentó diferencias significativas para las distintas densidades y la interacción densidad por N. Por otra parte, las diferencias fueron significativas para el efecto de las distintas dosis de N.

Tabla 2. Índice de verdor de la hoja principal y segunda hoja desplegada del maíz y eficiencia agronómica de N en tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.

Tratamientos	Campaña 2015	
	ÍV (hoja principal)	ÍV (segunda hoja desplegada)
30.000 x 0	47,70	37,07
30.000x 50	52,50	45,90
30.000x150	55,10	46,37
30.000x220	51,97	48,97
50.000x0	45,57	33,30
50.000x50	50,43	42,20
50.000x150	54,33	44,93
50.000x220	57,17	48,17
80.000x0	31,40	24,97
80.000x50	47,33	37,60
80.000x150	54,63	46,10
80.000x220	52,43	43,53
Valor p densidad	0,1882 <sup>ns</sup>	0,2071 <sup>ns</sup>
Valor p N	<0,0001 <sup>**</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>
Valor p densidad*N	0,0066 <sup>**</sup>	0,1907 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>: diferencia no significativa, \*: diferencia significativa, \*\*: diferencia altamente significativa.

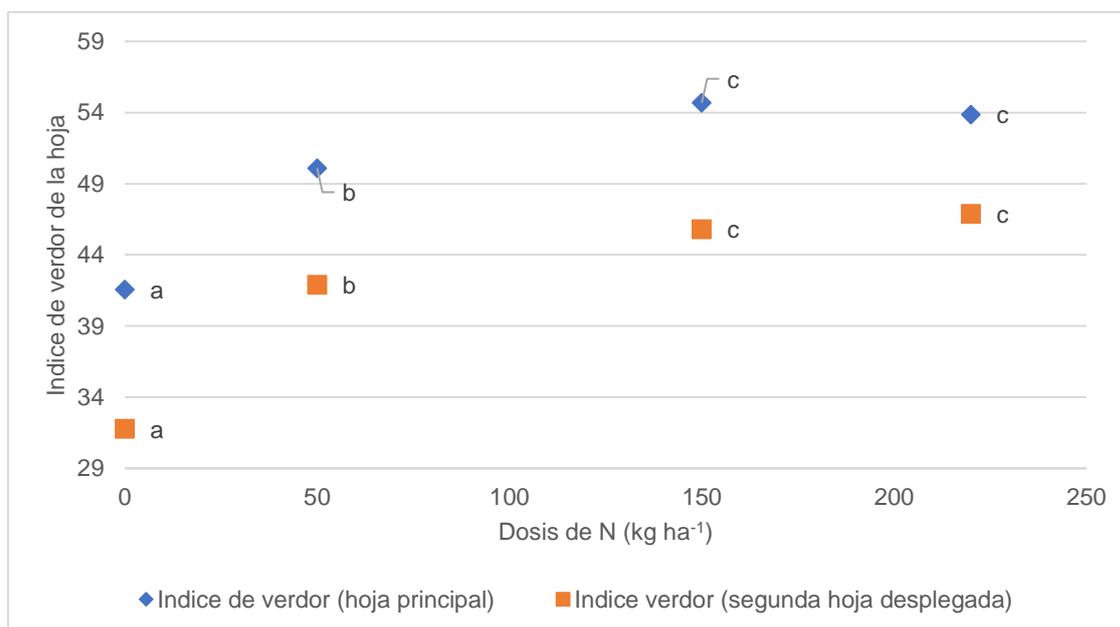


Figura 7. Índice de verdor, efecto de cuatro dosis de N y tres densidades de plantas, año 2015.

El índice de verdor de las hojas fue influenciado por el N. Se observa en la hoja principal que el índice de verdor aumenta hasta la dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, mientras que en la segunda hoja desplegada el índice de verdor aumenta incluso hasta la dosis 220 kg ha<sup>-1</sup> de N. En las dos hojas donde se midió el índice de verdor, los tratamientos 150 y 220 kg ha<sup>-1</sup> de N fueron estadísticamente similares, las dosis 0 y 50 kg ha<sup>-1</sup> de N fueron estadísticamente distintas a todos los tratamientos.

En la Tabla 3 se presenta los promedios de rendimiento y sus componentes.

Tabla 3. Promedios del efecto de la densidad de plantas y dosis de N para las variables, índice de prolificidad (IP), diámetro de espiga (DE), número total de granos por espiga (NTG\*Esp), peso de mil grano (PMG), rendimiento de granos (RTO) y Eficiencia agronómica de N (EAN).

Año 1	Den	D de N	IP	DE (mm)	NTG*Esp (granos espiga)	PMS (g)	RTO (kg ha <sup>-1</sup> )	EAN (kg kg <sup>-1</sup> )
	30000	0	1,40	45	470	238	3426	
		50	1,60	46	536	244	3773	7
		150	1,63	50	521	265	3993	4
		220	1,53	45	593	275	4956	7
	50000	0	1,07	46	411	290	3747	
		50	1,20	46	444	316	7000	54
		150	1,23	47	688	327	10106	39
		220	1,17	47	571	349	10377	28
	80000	0	1,07	44	283	238	3528	
		50	0,93	45	486	258	3931	8
		150	1,03	45	544	272	6230	18
		220	1,10	46	571	265	6313	13
Año 2	30000	0	1,33	45	372	239	3410	
		50	1,60	46	464	239	3788	8
		150	1,70	47	546	241	4066	4
		220	1,60	47	557	249	4889	7
	50000	0	1,07	45	316	283	3908	
		50	1,10	46	461	307	7367	60
		150	1,23	46	688	312	9325	33
		220	1,20	47	531	319	10110	26
	80000	0	1,00	41	319	248	3628	
		50	0,93	44	420	255	3924	6
		150	1,03	45	480	275	5160	10
		220	1,13	46	490	281	5862	10
Promedios								
Año 1			1,24	46	510	278	5615	20
Año 2			1,25	45	470	271	5453	18
30000 pl ha			1,55	46	507	249	4038	6
50000 pl ha			1,16	46	514	313	7743	40
80000 pl ha			1,03	45	449	262	4822	11
0 N			1,16	44	362	256	3608	
50 N			1,23	46	469	270	4964	24
150 N			1,31	47	578	282	6480	18
220 N			1,29	46	552	290	7085	15
ANOVA								
Año			0,9299 <sup>ns</sup>	0,1425 <sup>ns</sup>	<0,0001**	0,0011**	0,0303*	0,0641 <sup>ns</sup>
Den			<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
D de N			0,0047**	0,0002**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
D *D N			0,068 <sup>ns</sup>	0,04*	<0,0001**	0,024*	<0,0001**	<0,0001**
D*Año			0,9036 <sup>ns</sup>	0,940 <sup>ns</sup>	0,7043 <sup>ns</sup>	0,0002**	0,1358 <sup>ns</sup>	0,0439*
D N*Año			0,7072 <sup>ns</sup>	0,1087 <sup>ns</sup>	0,3342 <sup>ns</sup>	0,0681 <sup>ns</sup>	0,003**	0,0129*
Den*D N*Año			0,9874 <sup>ns</sup>	0,3482 <sup>ns</sup>	0,0022*	0,0905 <sup>ns</sup>	0,1559 <sup>ns</sup>	0,1212 <sup>ns</sup>

\*\* : p valor diferencia altamente significativo, \* : p valor diferencia significativa, p valor <sup>ns</sup> : diferencia no significativa

El IP (Tabla 2) en el ANOVA presentó mostró ser influenciada por la densidad de plantas y las dosis de N ( $p$  valor  $<0,0001$  y  $0,0047$ ). El mayor IP se obtuvo con la densidad 30000 plantas  $ha^{-1}$  con el que en el año 2 se alcanzó hasta 1,70 de IP, mientras que se observó disminución del IP cuando la densidad de plantas fue aumentando.

El ANOVA para el DE presentó  $p$  valor significativo ( $<0,0001$ ,  $0,0002$  y  $0,04$ ) para los efectos de la densidad de plantas, dosis de N y la interacción entre los mismos. El DE muestra tendencia a aumentar cuando la densidad de planta es baja y se aumenta la dosis de N, se observó valor de 50 mm de DE con la combinación 30.000 plantas  $ha^{-1}$  y 150  $kg\ ha^{-1}$  de N en el año 2015, mientras que en el año 2016 el DE para la misma combinación fue de 47 mm.

El NTG por espiga fue influenciado por el efecto de años, densidad de plantas, dosis de N y la interacción densidad de plantas por dosis de N. La combinación de 50.000 plantas  $ha^{-1}$  y 150  $kg\ ha^{-1}$  de N en el año 2015 permitió obtener el mayor número de granos (688), mientras que el menor NTG por espiga (283) se alcanzó en el mismo año con 80.000 plantas  $ha^{-1}$  y la dosis 0 de N  $ha^{-1}$ . La misma tendencia se observó en el año 2016.

El RTO de grano presentó diferencia estadística en el ANOVA para los efectos año, densidad de plantas, dosis de N, la interacción densidad de plantas por dosis de N ( $p$  valor  $<0,0001$ ) y dosis de N por año ( $p$  valor  $0,003$ ). El mayor rendimiento se alcanzó al combinar 50.000 plantas  $ha^{-1}$  con 220  $kg\ ha^{-1}$  de N en los años. El menor RTO se alcanzó con la combinación de 30.000 plantas  $ha^{-1}$  y dosis 0 de N  $ha^{-1}$  en ambos años. En el año 2015 el mayor RTO alcanzado superó en 6951  $kg\ ha^{-1}$  al menor RTO, la misma tendencia se observó en el año 2016.

La EAN mostró ser afectado por el efecto de la densidad de plantas ( $p$  valor  $<0,0001$ ), dosis de N ( $p$  valor  $<0,0001$ ), así como por la interacción densidad de plantas por dosis de N ( $p$  valor  $<0,0001$ ), densidad de plantas por año ( $p$  valor  $0,0439$ ) y dosis de N por año ( $p$  valor  $0,0129$ ).

La mayor EAN se observó con la combinación de 50.000 plantas  $ha^{-1}$  y 50  $kg\ ha^{-1}$  de N con el que la EAN fue de 54, en contraste la menor EAN (4) se observó con la combinación 30.000 plantas  $ha^{-1}$  y 150  $kg\ ha^{-1}$  de N.

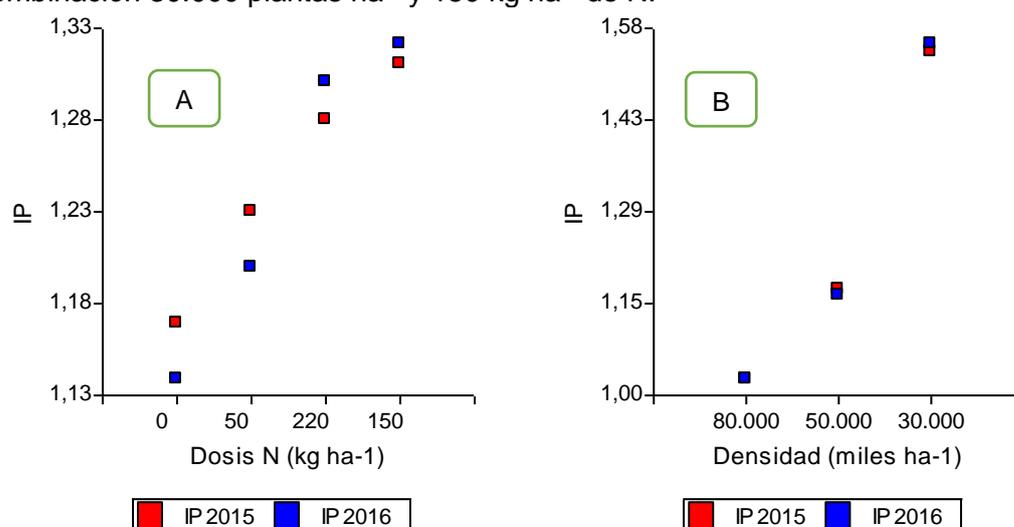


Figura 8. Índice de prolificidad (IP), efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).

El IP está más asociado a la variación de densidad de plantas que a las dosis de N, el mayor IP se obtuvo con la densidad 30.000 plantas  $ha^{-1}$  con el que se alcanzó un IP de

1,54 en el año 2015 manteniéndose la misma tendencia en el año 2016. El IP muestra disminución a medida que la densidad de plantas va aumentando.

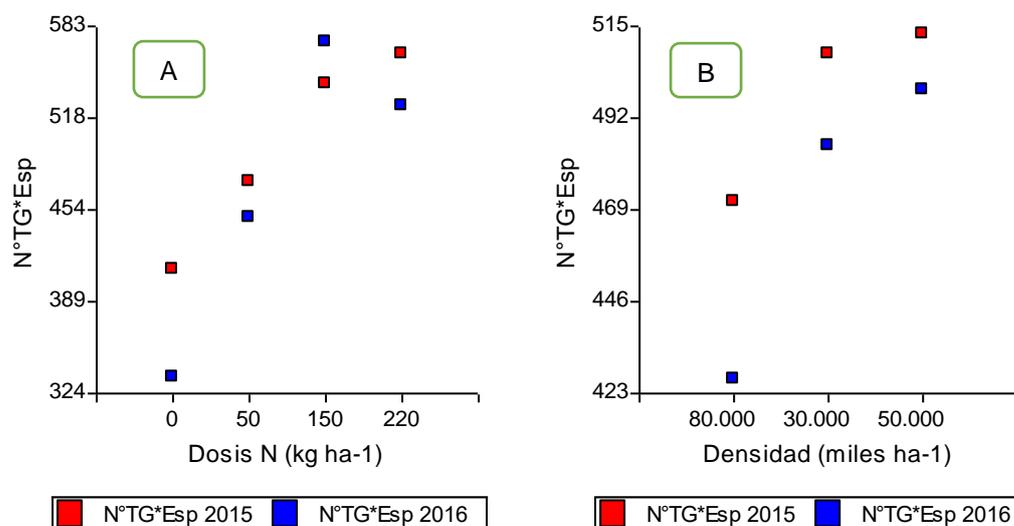


Figura 9. Número total de granos por espigas, efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).

En la figura 9 se observa que el NTG\*Esp antes el efecto de las dosis de N muestra crecimiento hasta la dosis 220 kg ha<sup>-1</sup> de N en el año 2015, mientras que en el año 2016 el NTG\*Esp aumenta hasta la dosis 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, disminuyendo cuando la dosis aumentó por encima de la dosis 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

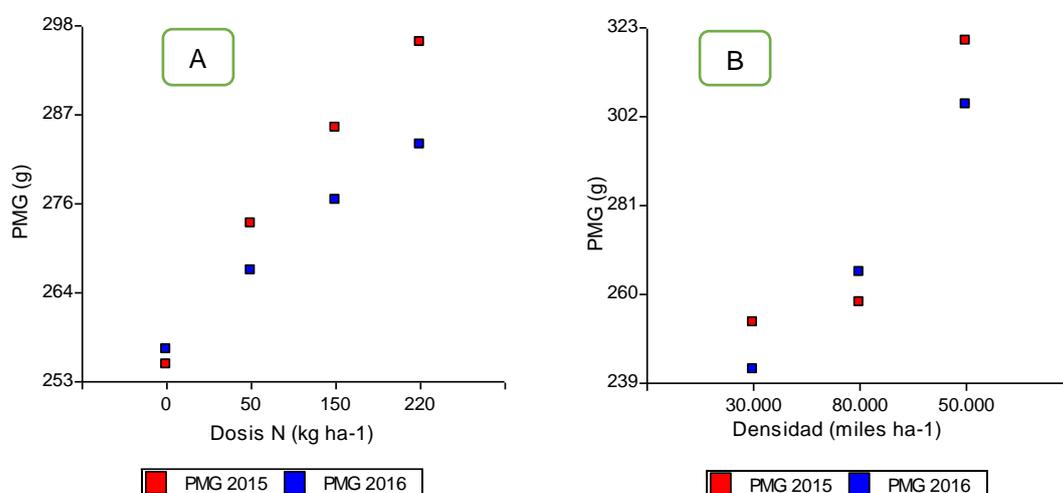


Figura 10. Peso de mil grano (PMG), efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).

El PMG muestra una tendencia a disminuir cuando la densidad de plantas es superior a 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, en ambos años de investigación, se observa diferencia significativa para el efecto de los tratamientos individuales como para interacción entre densidad de plantas por dosis de N y densidad de plantas por año.

La respuesta a la aplicación de N en dosis creciente muestra una tendencia de aumentar el RTO por encima de la mayor dosis aplicada (220 kg ha<sup>-1</sup>), la misma se presenta en la Figura 11. El efecto de las dosis de N presentó p valor <0,0001, estadísticamente se observa que todas las dosis de N fueron distintos entre sí.

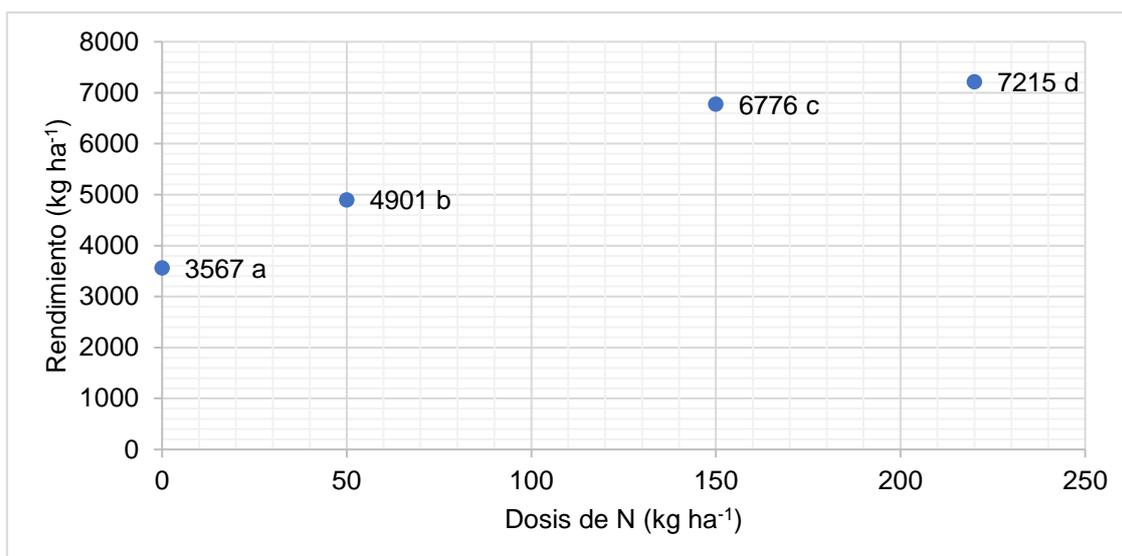


Figura 11. Rendimiento de grano (2015), efecto de cuatro dosis de N, letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

En la Figura 12 se presenta el RTO de grano afectado por las distintas dosis de N aplicados como tratamientos en el año 2016, la respuesta es similar a lo obtenido en el año 2015. El RTO fue mayor con la dosis 0 y 50 kg ha<sup>-1</sup> de N en el año 2016, mientras que con las dosis 150 y 220 kg ha<sup>-1</sup> de N fueron menores en comparación con el RTO alcanzado con las mismas dosis en el año 2015. La comparación de medias muestra que todos los tratamientos fueron distintos estadísticamente.

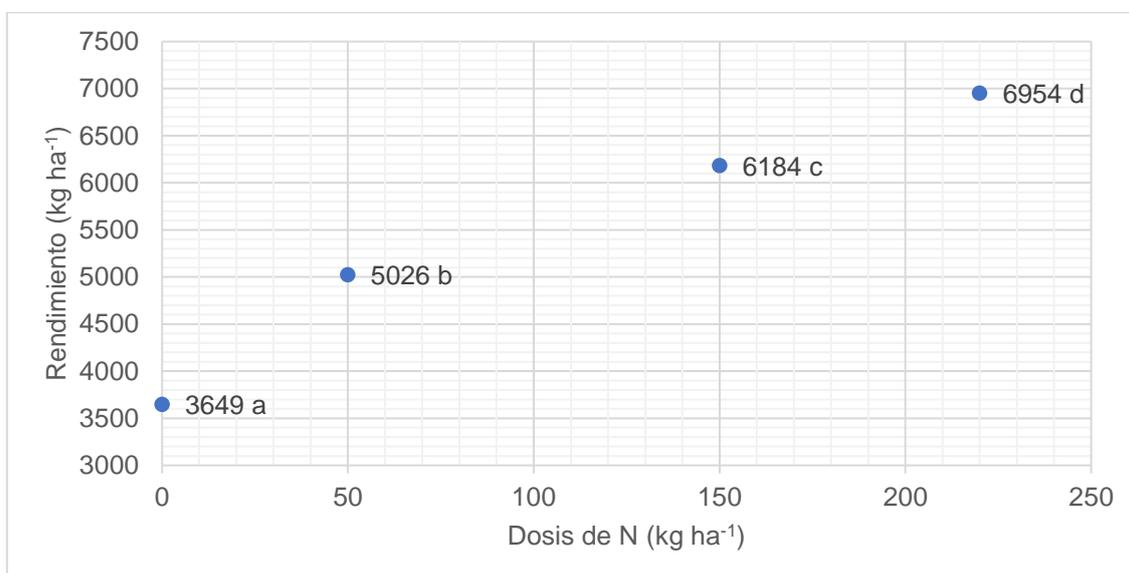


Figura 12. Rendimiento de grano (2016), efecto de cuatro dosis de N, letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

La ecuación de regresión (cuadrática) para los dos años en conjunto se observa en la Figura 13.

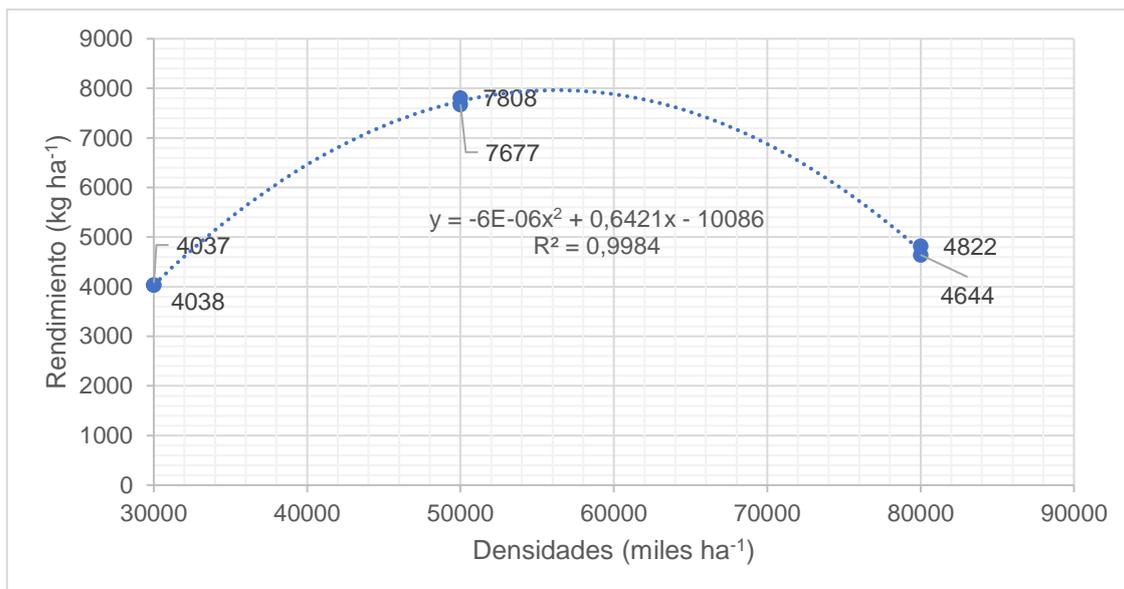


Figura 13. Rendimiento de grano, efecto de tres densidades de plantas, año 2015 y 2016

La densidad óptima de plantas considerando las dos campañas es de 64.215 plantas ha<sup>-1</sup>, se infiere que la densidad de plantas como tratamiento es poco variable considerando las dos campañas y el análisis en conjunto observada en la ecuación de regresión presentada.

Resultados de materia seca evaluada en el momento fenológico V8 (año 2016) en tallo, hoja y total se presenta en la Tabla 4.

La materia seca en hoja presentó diferencias significativas para las densidades y el N, mientras que para la interacción la diferencia fue no significativa. Por otra parte, la materia seca del tallo presentó diferencias significativas para los efectos individuales y la interacción de los tratamientos. Las diferencias fueron significativas para las densidades y dosis de N en la variable materia seca total, mientras que la interacción fue no significativa.

Tabla 4. Materia seca (V8) en tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.

Tratamientos	Materia seca de la hoja (g plantas)	Materia seca del tallo (g plantas)	Materia seca total (g plantas)
30.000 x 0	81	31	112
30.000x 50	81	33	114
30.000x150	83	33	116
30.000x220	81	33	114
50.000x0	84	32	116
50.000x50	86	34	119
50.000x150	86	34	120
50.000x220	87	33	120
80.000x0	89	35	124
80.000x50	91	35	126
80.000x150	93	34	128
80.000x220	93	35	127
p valor densidad	0,0001**	0,0008**	0,0001**
p valor N	0,0001**	0,0004**	<0,0001**
p valor densidad*N	0,1133 <sup>ns</sup>	0,0018**	0,5901 <sup>ns</sup>

\*\* : p valor diferencia altamente significativo, <sup>ns</sup> : diferencia no significativa

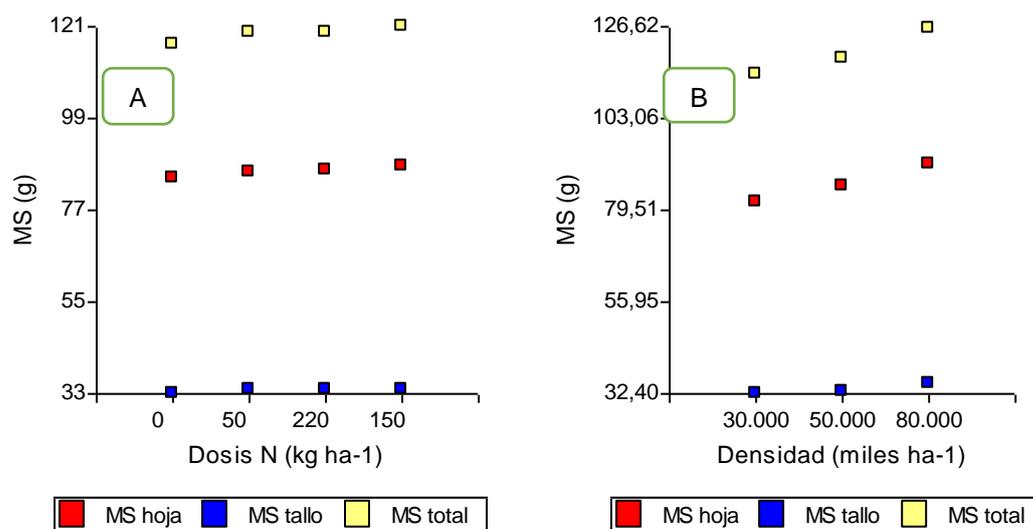


Figura 16. Materia seca por planta (MS), efecto de cuatro dosis de N (A) y tres densidades de plantas (B).

### **Análisis de correlación y MANOVA**

En la Tabla 5, se presenta la correlación total de las variables evaluadas en el año 2015 y en la Tabla 6 del año 2016. El MANOVA para el efecto de las densidades evaluadas y las dosis de N en el año 2015 se presentan en las Tablas 7 y 8, respectivamente. En la Tabla 9 y 10 se presenta el MANOVA para el efecto de las densidades y dosis de N del año 2016.

Tabla 5. Matriz de correlación total del conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.

	DE	N°HG	N°G*H	NTG*Esp	PMG	ÍP	RTO	AP	IAF	IV (2 <sup>da</sup> hoja desplegada)	IV (hoja principal)	RSI V6 (%)	RSI V14 (%)	RSI R3 (%)	
DE	1														
N°HG	0,12	1													
N°G*H	0,34	0,38	1												
N°TG*Esp	0,32	0,65	0,95	1											
PMG	0,32	0,48	0,31	0,42	1										
ÍP	0,37	-0,24	0,45	0,29	-0,11	1									
RTO	0,21	0,68	0,43	0,59	0,86	-0,13	1								
AP	0,37	-0,05	0,19	0,15	0,05	0,32	0,09	1							
IAF	-0,21	0,5	-0,24	-0,02	0,14	-0,78	0,31	-0,19	1						
IV (2 <sup>da</sup> hoja desplegada)	0,48	0,39	0,73	0,73	0,34	0,49	0,45	0,4	-0,16	1					
IV (hoja principal)	0,55	0,44	0,75	0,75	0,41	0,39	0,49	0,38	-0,08	0,91	1				
%RSI V6	-0,32	0,26	-0,43	-0,26	2,20E-03	-0,8	0,1	-0,36	0,87	-0,31	-0,25	1			
%RSI V14	-0,24	0,18	-0,21	-0,11	-0,03	-0,42	0,02	0,05	0,51	-0,07	-0,08	0,34	1		
%RSI R3	-0,03	0,75	0,37	0,56	0,43	-0,41	0,71	-0,08	0,7	0,27	0,33	0,47	0,33	1	

Los valores indican los coeficientes de correlación (R) entre las variables. DE: diámetro de espiga, N°HG: número de hilera de granos, N°TG\*Esp: número total de granos por espiga, PMS: peso de 1000 grano, IP: índice de prolificidad, RTO: rendimiento de grano, AP: altura de plantas, IAF, índice de área foliar, IV: índice de verdor de la hoja, RSI: radiación solar interceptada.

Tabla 6. Matriz de correlación total del conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra y cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.

	DE	N°HG	N°G*H	NTG*Esp	PMG	ÍP	RTO	AP	IAF	IV (2 <sup>da</sup> hoja desplegada)	IV (hoja principal)	RSI V6 (%)	RSI V14 (%)
DM	1												
N°HG	0,22	1											
N°G*H	0,63	0,54	1										
N°TG*M	0,53	0,78	0,94	1									
PMG	0,28	0,48	0,22	0,36	1								
ÍP	0,5	0,02	0,55	0,4	-0,38	1							
RTO	0,42	0,6	0,51	0,62	0,88	-0,1	1						
MST	-0,32	0,31	-0,14	4,80E-03	0,25	-0,63	0,14	1					
AP	0,18	0,12	0,29	0,25	0,08	0,25	0,16	-0,14	1				
IAF	-0,29	0,25	-0,23	-0,07	0,44	-0,75	0,24	0,9	-0,16	1			
RSI V6 (%)	-0,24	0,24	-0,19	-0,03	0,49	-0,68	0,33	0,82	-0,24	0,86	1		
RSI V14 (%)	-0,37	-0,04	-0,18	-0,14	0,26	-0,48	0,18	0,67	2,10E-03	0,70	0,63	1	
RSI R3 (%)	0,24	0,55	0,46	0,55	0,63	-0,31	0,71	0,59	1,60E-03	0,65	0,6	0,48	1

Los valores indican los coeficientes de correlación (R) entre las variables. DE: diámetro de espiga, N°HG: número de hilera de granos, N°TG\*Esp: número total de granos por espiga, PMG: peso de 1000 grano, IP: índice de prolificidad, RTO: rendimiento de grano, MST: materia seca total, AP: altura de plantas, IAF, índice de área foliar, IV: índice de verdor de la hoja, RSI: radiación solar interceptada.

Tabla 7. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.

Densidad	DM	N°HG	N° G*H	N° TGM	PMS	IP	RG	AP	IAF	IV 1	IV 2	%RI V6	%RI V14	%RI R3	
75000	45	15	31	471	258	1,03	5000	185	4,71	38	46	46	81	88	A
50000	47	15	35	528	320	1,17	7808	189	3,61	42	52	35	70	85	B
30000	47	14	37	530	255	1,54	4037	191	2,23	45	52	25	66	77	C

Tabla 8. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2015.

Dosis N	DM	N°HG	N° G*H	N° TGM	PMS	IP	RG	AP	IAF	IV 1	IV 2	%RI V6	%RI V14	%RI R3	
0	44,89	14	27	387	255	1,17	3567	186	3,29	31	41	35	71	77	A
150	47,44	15	38	584	288	1,31	6776	189	3,74	45	54	34	69	87	B C
220	45,78	15	37	578	296	1,28	7215	188	3,65	46	53	35	77	89	B
50	45,78	14	33	488	272	1,23	4901	188	3,39	41	50	35	70	79	C

Tabla 9. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de tres densidades de siembra. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.

Densidad	DM	N°HG	N° G*H	N° TGM	PMS	IP	RG	MST	AP	IAF	%RI V6	%RI V14	%RI R3	
75000	44	14	30	427	265	1,03	4644	126	185	4,71	45	77	88	A
50000	46	14	34	499	305	1,16	7677	118	189	3,62	37	65	87	B
30000	46	14	36	485	242	1,55	4038	114	190	2,19	21	50	80	C

Tabla 10. MANOVA de conjunto de variables evaluadas, efecto de cuatro dosis de N. Encarnación, Paraguay. Campaña 2016.

Dosis N	DM	N°HG	N° G*H	N° TGM	PMS	IP	RG	MST	AP	IAF	%RI V6	%RI V14	%RI R3	
50	46	14	32	448	267	1,20	5026	120	187	3,36	33	60	83	A
0	44	12	27	336	257	1,14	3649	117	186	3,26	32	67	78	B
220	46	14	36	526	283	1,32	6954	120	189	3,67	37	64	90	C
150	46	15	38	571	276	1,32	6184	121	190	3,73	36	65	89	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), DE: diámetro de espiga, N°HG: número de hilera de granos, N°TG\*Esp: número total de granos por espiga, PMS: peso de 1000 grano, IP: índice de prolificidad, RTO: rendimiento de grano, MST: materia seca total, AP: altura de plantas, IAF, índice de área foliar, IV: índice de verdor de la hoja, RSI: radiación solar interceptada.

El MANOVA mostró diferencias significativas para el efecto de las densidades y las dosis de N en los dos años (2015 y 2016). La comparación de medias mostró que las densidades fueron distintas entre sí en los dos años. Por otra parte, la comparación de medias entre las dosis de N en el año 2015 mostró que  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  fue distinto a las demás dosis, mientras que las dosis  $150$  y  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  de N fueron similares entre sí, lo mismo se observó entre las dosis  $50$  y  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ .

En el año 2016, la comparación de medias fue similar al del 2015 con relación a las densidades de siembra, mientras que entre las dosis evaluadas se observó que fueron similares  $150$  y  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

## Discusión

La altura de planta no mostró diferencias ante variación en la densidad poblacional, distintas dosis de N y la interacción de dichas variables en ambas campañas. Por el contrario, Soares (2003) en Brasil indicó que la altura de planta de maíz es influenciada por dosis creciente de N observándose aumento de la altura de planta cuando aumenta la dosis de N. En la primera campaña (2015), se observó una leve tendencia de aumentar la altura de planta en densidad baja (30.000 plantas ha<sup>-1</sup>) mientras que en la segunda campaña (2016) la mayor altura se obtuvo con densidad de plantas intermedias (50.000 plantas ha<sup>-1</sup>). En este sentido se puede entender que la altura de planta para una determinada fecha de siembra es estable en el maíz, y que tanto la densidad como la dosis creciente de N no afectan al mismo. Von Pinho *et al.* (2008) y Piazzoli *et al.* (2012) manifiestan que la altura de planta del maíz aumenta a medida que aumenta la densidad de siembra, dichos resultados difieren con lo obtenido en estos experimentos donde la altura de planta no mostró diferencia estadística cuando se varió la densidad poblacional. Cruz Mendez *et al.* (2013) mencionan que al evaluar distintos híbridos de maíz en distintas densidades y distintas dosis de N obtuvieron efecto de los tratamientos para la variable altura de plantas; los mismos mencionan que la altura de planta aumenta cuando aumenta la densidad y la dosis de N.

El IAF medido al momento de la floración presentó diferencia significativa para el efecto de las densidades, dosis de N y la interacción de los mismos en los dos años (2015 y 2016) de evaluación. El mayor valor de IAF en el año 2015 se obtuvo con alta densidad de siembra en combinación con alta dosis de N (80.000 plantas ha<sup>-1</sup> y 220 kg ha<sup>-1</sup> de N), mientras que con baja densidad de siembra con todas las dosis de N evaluado se obtuvieron bajos valores de IAF. En la campaña 2016, la tendencia fue similar a lo obtenido en el año 2015. En Brasil, resultados similares de Da Costa Veloso *et al.* (2009) expresan que al aumentar las dosis de N aumenta el IAF del maíz; este resultado concuerda en parte con lo obtenido en este trabajo donde el IAF mostró aumento ante la variación de la densidad de plantas mientras que al aumentar la dosis de N existe una tendencia de disminuir el IAF.

Yan *et al.* (2017) indican que el IAF del maíz disminuye a medida que la densidad poblacional baja, que coincide con lo obtenido en este trabajo donde se observó disminución del IAF en densidad baja comparado con media y alta densidad.

Al considerar que el IAF es una variable dependiente del número de hojas por planta, el largo y el ancho de la hoja principal y de la densidad poblacional se infiere que al aumentar la densidad ya se podría aumentar el IAF, así mismo es influenciado por la aplicación de dosis creciente de N. En el año 2016 la densidad de siembra consistente en 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> superó en 53,5% a la densidad de 30.000 plantas ha<sup>-1</sup>; la densidad intermedia fue superada en 33,7% por la mayor densidad evaluada en este experimento. Los resultados fueron similares en el año 2015 y 2016, con lo obtenido se puede mencionar que el IAF es una variable que es afectada de manera directa por variación de la densidad poblacional en la época tardía de siembra en la zona sur del Paraguay. Al aumentar la densidad poblacional se obtiene mejor cobertura de la hoja que podría representar mejor intercepción de la radiación solar.

La correlación mostró que el IAF se correlaciona de manera positiva y alta con la RSI, principalmente en V6 y R3.

El porcentaje de radiación solar mostró ser influenciado por las densidades evaluadas en los tres momentos y en las dos campañas. Por otra parte, los efectos de las dosis de N en el año 2015 en los estados fenológicos de V6 y V14 no fueron significativos,

mientras que en R3 mostró ser afectado. En R3 se observó interacción de las densidades por las dosis de N. En el año 2016, no se observaron diferencias significativas en la interacción entre variables en los momentos fenológico V6 y V14.

Martínez Álvarez (2015) menciona que aumentos de la densidad de plantas o el arreglo espacial redundan en mayor captación de la radiación solar. Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con lo expresado por el mencionado autor considerando que los mayores porcentajes de intercepción se alcanzaron con la densidad más alta, esa tendencia se observó desde el primer momento de evaluación (V6).

Por otra parte, Cirilo *et al.* (2012) mencionan la importancia de que el cultivo en etapas tempranas pueda formar altos niveles de cobertura foliar y que esta cobertura foliar fotosintéticamente activa se mantenga en el mayor tiempo posible para asegurar la intercepción de la mayor cantidad de radiación durante todo el ciclo. Lo mencionado por Cirilo *et al.* (2012) se puede relacionar con lo obtenido en las dos campañas en las que se realizaron los experimentos ya que con las densidades media y alta (50.000 y 80.000 plantas  $ha^{-1}$ ) fueron las que desde los estados fenológicos tempranos presentaron mayor porcentaje de captación de la radiación solar. Se puede observar una relación entre el IAF y el porcentaje de radiación interceptada, los mayores valores de IAF al momento de la floración se obtuvieron con alta densidad y altas dosis de N. La misma tendencia se observó con la radiación interceptada donde las altas densidades, en combinación con dosis alta de N, interceptaron mayor cantidad de radiación desde los estados fenológicos tempranos. En el año 2016 se alcanzó el porcentaje de intercepción de la radiación de 91 % con la combinación de 80.000 plantas  $ha^{-1}$  y 150 kg  $ha^{-1}$  de N.

Contreras *et al.* (2012) mencionaron que incrementos de 30 a 180 kg  $ha^{-1}$  de N aumentaron la radiación interceptada en 19 % durante la floración. En este trabajo se observó que aumentó el 46,6 % de la radiación solar interceptada en V6 comparando los tratamientos 80.000 plantas  $ha^{-1}$  \* 150 kg  $ha^{-1}$  de N y el tratamiento 30.000 plantas  $ha^{-1}$  \* 0 kg  $ha^{-1}$ .

Andrade *et al.* (1996) mencionan que un estrés por baja disponibilidad de N reduce la tasa de crecimiento del maíz en el periodo crítico. Una buena nutrición en momentos de alta demanda permite un buen crecimiento foliar. Lo expresado por los autores citados confirma los resultados obtenidos en este trabajo donde se observó que las dosis bajas de N, combinados con todas las densidades en todos los momentos fenológicos, el porcentaje de radiación interceptada fue menor.

Respecto al índice verde de la hoja principal se observó que es afectado por las dosis de N y en la segunda hoja desplegada se observó la misma tendencia. En la hoja principal se obtuvo diferencia significativa en la interacción, mientras que en la segunda hoja desplegada no se observó el mismo resultado. Los tratamientos donde no se aplicaron N, tanto en la hoja principal como en la segunda hoja desplegada mostraron valores inferiores en todas las densidades en comparación con los tratamientos donde se aplicaron N. Ribeiro do Amaral Filho *et al.* (2005) indican que aumentos en la dosis de N promueve el incremento del tenor de clorofila, esto concuerda con lo obtenido en este trabajo donde se observa que el índice de clorofila aumenta a medida que la dosis de N se incrementa.

Borghi *et al.* (2016) indican que al aumentar la dosis de N aumenta linealmente el tenor de clorofila en la hoja; esto coincide con lo obtenido en este trabajo donde se observó que incrementos de las dosis de N incrementan el índice de clorofila tanto en la hoja principal como en la segunda hoja desplegada.

El índice de verdor fue superior en la hoja principal en comparación con la segunda hoja desplegada, posiblemente debido a que el N es un elemento mineral móvil y que se mueve desde las hojas más viejas hacia las nuevas hojas. Así mismo, se pudo observar que esta variable es un indicador indirecto del contenido de N foliar y que las dosis de N aplicado fueron diferentes en contenido de clorofila en las hojas del maíz sembrado en época tardía y en distintas densidades de siembra.

La EAN es una variable muy afectada por la aplicación de dosis creciente de N en distintas densidades de siembra del maíz. Se observó que las dosis de 50 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N fueron las que mostraron mayor EAN para la densidad 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, mientras que en la densidad 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> fue la dosis 150 kg ha<sup>-1</sup> de N la que mostró mayor EAN. La EAN fue mejor en densidad media y alta. Sin embargo, la misma disminuyó en densidades bajas combinados con todas las dosis de N. Con lo obtenido se infiere que con densidades medias y altas se logra una mayor recuperación del N aplicado en el maíz.

El diámetro de la espiga del maíz en el año 2015 no fue influenciado por el efecto de los tratamientos, sin embargo, en el año 2016 las diferencias fueron significativas en el análisis de varianza. De acuerdo a lo expresado por Raasch *et al.* (2016) el diámetro de la espiga fue afectado por distintas dosis de N, y coincide con lo observado en el año 2016 donde los tratamientos afectaron de manera significativa el diámetro de la espiga. Se observó que disminución de la densidad de siembra y aumentos de la dosis de N aumentan el diámetro en comparación con densidad de siembra alta.

En el año 2015, el número de hileras de granos fue influenciado por el efecto de las distintas dosis de N y por la interacción entre densidades de siembra y dosis de N. Mientras que, en el año 2016, solo la dosis de N mostró efecto sobre dicha variable. Sichoeki *et al.* (2014) mencionan que el número de hileras de grano no fue afectado de manera significativa por distintas dosis de N; esto coincide con lo obtenido en el año 2015, mientras que difiere de lo observado en el año 2016. Raasch *et al.* (2016), sin embargo, manifiestan que distintas dosis de N en el maíz presentan diferencia significativa sobre el número de hileras de grano.

Lo obtenido para el número total de granos en el año 2015 resultó ser influenciado por las dosis de N, no así por las densidades. La interacción demostró significancia estadística, con la dosis 150 kg ha<sup>-1</sup> de N y 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> se alcanzó el mayor número de grano, mientras que valor mínimo de número de grano por mazorca se obtuvo con 30.000 plantas ha<sup>-1</sup> y 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Contreras *et al.* (2012) mencionan que el cultivo de maíz fija mayor número de granos cuando mejora el crecimiento del cultivo mediante un aumento de la radiación solar interceptada que a su vez es influenciada por el incremento en la cantidad de N aplicado como a la variación de la densidad poblacional. Esto concuerda en parte con lo obtenido en este trabajo para el número de granos por mazorca donde se observó que la densidad de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> con altas dosis de N presentó mayor número de grano por mazorca. Below (2002) indica que entre las principales funciones del N está el mantenimiento y crecimiento de los destinos reproductivos y esto se puede relacionar de manera directa con lo que se obtuvo en este trabajo.

El índice de prolificidad fue afectado por la densidad de siembra en el año 2015, mientras que en el año 2016 por la densidad de siembra y las dosis de N. Se observó que densidad baja en combinación con dosis altas de N aumenta el índice de prolificidad del maíz. Lo obtenido en el año 2015 difiere de lo expresado por Soares (2003), ya que el mismo indica que el índice de prolificidad del maíz aumenta conforme a dosis incrementales de N.

El peso de 1000 grano en el año 2015 fue afectado de manera significativa por las distintas densidades y dosis de N, lo mismo se observó en el año 2016 donde también presentó influencia la interacción entre los tratamientos. El mayor peso de 1000 semillas se obtuvo con 50.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en combinación con 220  $\text{kg ha}^{-1}$  de N en el año 2015 superando en 31 % al tratamiento 30.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  \* 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N con el que se obtuvo el menor peso de 1000 semillas; la misma tendencia se observó en el año 2016. Este resultado es similar a lo obtenido por Raasch *et al.* (2016) quienes obtuvieron diferencia significativa para el peso de 1000 semillas ante la aplicación de distintas dosis de N. Sichoeki *et al.* (2014) expresan resultados similares a los obtenidos en este trabajo con relación al peso de 1000 semillas.

Así mismo, lo obtenido se puede relacionar con lo expresado por (Magalhães *et al.* 2002) quienes indican que la productividad del maíz depende del número de granos polinizados y fertilizados y de la cantidad de fotoasimilados disponibles, mientras que el número de granos que tienen potencial de desenvolverse en una espiga es influenciado por los factores ambientales. Las espigas del maíz siempre presentan número de hileras par, cuando el cultivar tiene prolificidad existe una tendencia de tener menor número de granos por espigas

La importancia de los factores de manejo como ser la densidad de siembra y la dosis de N aplicado al cultivo de maíz se observa en el rendimiento obtenido en los años 2015 y 2016. El mínimo y máximo rendimiento se obtuvieron con los tratamientos 30.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  \* 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N y 50.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  \* 220  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, respectivamente en las campañas que se realizaron los experimentos. Los efectos de los tratamientos fueron significativos tanto para los factores individuales como para la interacción de los mismos. En el año 2015, el tratamiento con el que se alcanzó el mayor rendimiento superó en 6951  $\text{kg ha}^{-1}$  al que presentó menor rendimiento. En el año 2016, la diferencia entre los mismos tratamientos fue de 6700  $\text{kg ha}^{-1}$ .

La relación entre rendimiento y densidad mostró una forma cuadrática, mientras que para rendimiento y dosis de N la relación fue creciente hasta por encima de la mayor dosis evaluada en este trabajo. Los resultados fueron similares en las dos campañas.

La correlación fue alta entre el rendimiento y el peso de 1000 semillas y el número total de granos por espiga, con lo observado en la correlación se infiere que el rendimiento es definido por el número y peso de grano.

Soares (2003) menciona que la influencia de la aplicación de N al cultivo de maíz es importante para aumentar la productividad del cultivo; el mismo verificó que al aplicar 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N aumentó el rendimiento en un 92 % en relación a un tratamiento donde no aplicó N. Similar resultado se obtuvo en este trabajo donde se observó que la aplicación del N en híbrido de maíz en la época tardía de siembra en la zona sur del Paraguay ejerce importante influencia sobre el rendimiento de grano. Lo manifestado por Below (2002), acerca de la disminución del rendimiento ante deficiencias de N, se confirma en este experimento.

Sichoeki *et al.* (2014) expresan que el rendimiento del maíz fue influenciado por el N, resultados de 3993 y 7550  $\text{kg ha}^{-1}$  obtuvieron con dosis de 30 y 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N respectivamente, respuesta similar fue observada en este trabajo.

Shapiro & Wortmann (2006) citan que, en Nebraska Estados Unidos, densidades altas de maíz permiten mejor respuesta del mismo a la aplicación de N; el mismo resultado se evidencio en este trabajo donde se observó que el rendimiento del maíz fue mejor en densidades altas combinado con dosis elevada de N.

De acuerdo a lo expresado por Santoro (2018) una alta densidad del maíz combinado con altas dosis de N permite maximizar el rendimiento y que el mismo es influenciado principalmente por el número de granos. Esto concuerda con lo obtenido en este trabajo donde los resultados presentaron tendencia similar demostrada por la alta correlación entre el rendimiento y el número total de grano y el peso de mil semillas.

Videla *et al.* (2014) mencionan que los resultados de rendimiento son significativos cuando se aumenta la densidad de planta en ambientes con alto potencial productivo, En ambientes considerados de alta productividad en la Argentina la densidad optima varió entre 70.000 a 80.000 plantas por hectárea en comparación con ambientes considerados de baja productividad donde las densidades optimas variaron entre 45.000 a 50.000 plantas por hectárea. De acuerdo a lo expresado por Videla *et al.* (2014) se puede inferir que el ambiente donde se realizaron los ensayos es de alto potencial productivo en la época tardía de siembra en el sur de Paraguay, ya que se pudo observar que el rendimiento del maíz aumentó por encima de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> hasta alcanzar la densidad optima observada en la ecuación de regresión que fue de 63.990 plantas ha<sup>-1</sup> en el año 2015 y 63.490 plantas ha<sup>-1</sup> para el año 2016.

Uhart *et al.* (2018) en la Argentina mencionan que el rendimiento en grano de híbridos de maíz mejorados y su ganancia genética para adaptación a siembra tardía demostraron ser afectados por dosis de N en distintos niveles y variación de densidad de siembra. Estos resultados concuerdan con lo obtenido en este trabajo donde se observó respuesta positiva del rendimiento del híbrido DK 8282 BT ante aumentos de las dosis de N y aumentos en la densidad de siembra en la época tardía.

Considerando lo expresado por Andrade & Sadras (2002) con relación a las temperaturas cardinales para el desarrollo del maíz, indican que la temperatura optima se considera entre 30 y 34 °C, cabe destacar que el registro de la temperatura durante la campaña 2015 en el periodo crítico del cultivo fue de 31, 20 y 26 °C para las temperaturas máxima, mínimo y promedio respectivamente. Se puede observar que la temperatura fue cercana a la óptima para el desarrollo, factor que se puede considerar no limitante para el cultivo. En el año 2016 se observó registro similar al año 2015 con relación a la temperatura. Se observó que en las dos campañas que se realizaron los experimentos no se presentó deficiencia hídrica. Se alcanzó un total de precipitaciones de 997 y 989 mm en los años 2015 y 2016 respectivamente, durante los meses de los ensayos a campo; se puede inferir que el régimen hídrico no limitó para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Con relación a la heliofanía (2016) se registró una disminución de la misma durante la duración del experimento del orden del 21 % de horas luz desde febrero hasta abril; este periodo incluye la emergencia de planta y el periodo crítico del cultivo.

La materia seca (medida en V10) en hoja, tallo y total mostró ser afectada por los tratamientos, estadísticamente afectaron la densidad y las dosis de N como la interacción de los mismos. Altas densidades y aumentos de dosis de N aumentan la materia seca acumulada en V6. Lo obtenido en este trabajo coincide con lo expresado por Yan *et al.* (2017) quienes indican que la biomasa acumulada por el maíz decrece cuando la densidad de plantas disminuye.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en los experimentos de maíz correspondientes a los años 2015 y 2016 en condiciones ambientales del Sur de Paraguay, se concluye:

- La variación de la densidad de siembra y aplicación de dosis crecientes de N afectaron el rendimiento y sus componentes, y así mismo los caracteres agronómicos. El IAF incrementó en forma creciente ante el aumento de las densidades. Los mayores porcentajes de intercepción de la radiación solar se alcanzaron con densidades de 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> combinados con todas las dosis de N.
- El índice de verdor fue afectado principalmente por las dosis de N tanto en la hoja principal y en la segunda hoja desplegada. En la hoja principal los valores fueron superiores comparados con el índice de verdor en la segunda hoja desplegada. Las dosis altas de N (150 y 220 kg ha<sup>-1</sup>) permitieron alcanzar mayores valores en combinación con todas las densidades evaluadas.
- La densidad de 30.000 plantas ha<sup>-1</sup> presentó menor recuperación del N aplicado. La densidad de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> fue la que mayor recuperación del N presentó para todas las dosis evaluadas en los dos años de acuerdo a los resultados de la EAN.
- El mayor rendimiento de grano se alcanzó con la mayor dosis de N (220 kg ha<sup>-1</sup>). La densidad óptima fue de 64.215 plantas ha<sup>-1</sup>.
- El rendimiento en ambos años de experimentos (2015 y 2016) fue afectado principalmente por el peso y el número de granos. Los valores más altos se alcanzaron con dosis altas de N y densidad media alta.

### **Contraste con la hipótesis**

Como hipótesis general se planteó que: incrementos en la oferta de N producen mayor crecimiento y rendimiento del híbrido de maíz DK 8282 BT triple pro, en densidades intermedias-altas en la época tardía de siembra en el Sur de Paraguay. La misma ha sido aceptada debido a que se observó que los caracteres agronómicos, el rendimiento y sus componentes fueron influenciados por las densidades y las dosis de N. Se constató que densidades medias altas y dosis de N alta son factores de manejo que permiten mayores rendimientos de grano del híbrido de maíz en la fecha de siembra tardía en la zona sur del Paraguay.

## Bibliografía

Alievi, C & LA, Zanão. 2017. Doses de nitrogênio sobre diferentes populações de milho segunda safra. Revista cultivando o saber. ISSN 2175-2214. p. 37 a 53.

Andrade, FH & V, Sadras (2da Ed). 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 450 pp.

Andrade, FH; A, Cirilo; S, Uhart & M, Otegui (1ra Ed). 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa Buenos Aires. Argentina. 292 pp.

Balbi, C; N, Neiff & AG, Cirilo. 2014. Genotipo, densidad de plantas y fecha de siembra en maíz pisingallo: variaciones en rendimiento y calidad de grano. FACENA, Vol. 30.

Barbieri, PA; HE, Echeverría; HR, Sainz Rozas & FH, Andrade. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. AJ. Vol. 100 No. 4, p. 1094-1100.

Below, FE. 2002. Fisiología nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. [http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/D757CEE6B1516328852579A30074B16B/\\$FILE/Fisiologia,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20del%20ma%C3%ADz.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialahp.nsf/0/D757CEE6B1516328852579A30074B16B/$FILE/Fisiologia,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20del%20ma%C3%ADz.pdf). Mar- 2019

Borghini, E; LA, Maciel; A, Resende de; IA, Pereira & RA, Lima. 2016. Índice de vegetação, teor de clorofila e eficiência de uso de nitrogênio por híbridos de milho. [http://www.abms.org.br/cnms2016\\_trabalhos/docs/1023.pdf](http://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/1023.pdf). Feb 2019.

Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO). 2018. Área de Siembra, Producción y Rendimiento. <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>. Ene -2019

Carmo, M; L, Rampin, T, Ohland & F, Fávero. 2014. Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in an Oxisoil. Rev. Ceres, Viçosa, v. 61, n.3, p. 424-433.

Caviglia, OP; RJM, Melchiori; VO, Sadras. 2014. Nitrogen utilization efficiency in maize as affected by hybrid and Nrate in late-sown crops. Field Crops Research 168, 27–37.

Cirilo, A; FH, Andrade; M, Otegui; G, Maddonni; C, Vega & O Valentinus. 2012. Ecofisiología del cultivo de maíz. Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz. INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_bases\\_para\\_el\\_manejo\\_de\\_maiz\\_reglon\\_100-2\\_2.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bases_para_el_manejo_de_maiz_reglon_100-2_2.pdf). Dic 2018.

Contreras, A; CG, Martínez & G, Estrada. 2012. Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de Valles Altos de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 35 (2): 161–169.

Cruz Mendes, M; PH, Matchula; E, Santos; B, Rodrigues; CA, Silva & C Ribas. 2013. Adubação nitrogenada em cobertura associada com densidades populacionais de híbridos de milho em espaçamento reduzido. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, n.2, p. 92-101.

Da Costa, ME; SN, Duarte; D, Dourado; E, Cabral & C, Rodrigues. 2009. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.8 n.1, p. 13-25.

Di Rienzo JA; F, Casanoves, MG, Balzarini; L, González; M, Tablada & Robledo CW. 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>. May 2019.

Diez, M & C, Sardiña. 2017. Evaluación de híbridos y densidad de siembra en maíz con destino a silaje. INTA. Memoria técnica.

Espósito, G; B, Balboa; C, Cerliani & R Balboa. 2015. Rendimiento potencial de maíz. El cultivo de maíz en San Luis. INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_maizensanluis.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_maizensanluis.pdf). Ene 2019.

Ferraguti, F. 2013. Maíz en fechas tardías: una alternativa que llegó para quedarse. INTA. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-maz-segunda.pdf>. Nov 2018.

García, JP & J, Espinosa. 2009. Efecto del fraccionamiento de N en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutriente en maíz. International Plant Nutrition Institute.

López, O; E, González; PA, Llamas; AS, Molinas; ES, Franco; S, García & EO, Ríos. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. <http://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>. Sep 2018.

Magalhães, PC; FO, Durães; N, Portilho & E, Paiva. 2002. Fisiología do Milho. Circular técnica. EMBRAPA. <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf>. Feb 2019.

Manual de determinación de rendimiento. 2012. México. DF: CYMMIT.

Martínez, D. 2015. Ecofisiología del cultivo de maíz. El cultivo de maíz en San Luis. INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_\\_maizensanluis.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta__maizensanluis.pdf). Ene 2019.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2018. Producción y rendimiento de maíz en mundo. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>. Mar- 2019

Paliwal, R. L. 2001. El maíz en los trópicos. Introducción al maíz y su importancia. Colección FAO: producción y protección vegetal. Roma, Italia.

Pautasso, JM; NE, Maltese & RM, Melchiori. 2018. Fertilización nitrogenada en fechas de siembra tempranas y tardías de maíz. <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2018/07/Revista-T%C3%A9cnica-Ma%C3%ADz-julio-2018.pdf>. Ene 2019.

Pessina, F; M, Navas; J, Gorosito; N, Mazo; J, Prada; J, Peltenburg, J, Doll & Incognito, S. 2018. Maíz tardío: Respuestas del rendimiento, sus componentes y el patrón del crecimiento de los granos. [http://congresodemaiz.com.ar/admin/doc\\_confirmados/38832103-CO-Pessina.pdf](http://congresodemaiz.com.ar/admin/doc_confirmados/38832103-CO-Pessina.pdf). Dic 2018.

Pereira, IA & JC, Cruz. 2002. Cultivo do milho. Plantio, espaçamento, densidade, quantidade de sementes. [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Comunicadotecnico46\\_000fh4typ3g02wyiv80rn0etns9yxeif.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Comunicadotecnico46_000fh4typ3g02wyiv80rn0etns9yxeif.pdf). Dic 2018.

Piazzoli, D; AM, Prando; C, Claudemir; T, Montagner; G, Shiroma; JV, Sella & JA, Oliveira de. 2012. Adubação nitrogenada de cobertura e densidade de plantas nas características agrônomicas do milho segunda safra sob espaçamento reduzido. [http://www.abms.org.br/eventos\\_anteriores/cnms2012/07116.pdf](http://www.abms.org.br/eventos_anteriores/cnms2012/07116.pdf). Dic 2018.

Proot, A; M, Barroco; C, Scianca & C, Álvarez. 2011. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la densidad de siembra sobre los rendimientos y la eficiencia de uso de agua en maíces tardíos en la pampa arenosa. INTA. Memoria técnica.

Raasch, H; EL, Schoninger; R, Noetzold; D, Costa da & J, Días da Silva. 2016. Doses de nitrogênio em cobertura no milho de segunda safra em Nova Mutum – MT. Revista cultivando o saber. Volume 9 - n° 4, p. 517 a 529.

Reyes, P. 1990. El maíz y su cultivo. México. D.F. AGT Editor. 460 pp.

Montgomery, EG. 1911. Correlations studies in corn. Neb. Agric. Exp. Stn. Annu. Rep. 24:108-159.

Ribeiro do Amaral, JP; D, Fornasieri; R, Farinelli & JC Barbosa. 2005. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 29:467-473.

Ritchie, SW & JJ Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.

Ruiz, A; T, Coyos & L Pagnan. 2018. Manejo de la fertilización nitrogenada y densidad de siembra en ambientes del sudeste de Córdoba – Experiencias de la Chacra Justiniano Posse. INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_maiz\\_fertn\\_secba\\_18.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_maiz_fertn_secba_18.pdf). Dic 2018.

Santoro, MJ. 2018. Corn grain yield components and nutrient accumulation in response to nitrogen, plant density and hybrid. Tesis Doctoral. University of Kentucky.

Salvagiotti, F. 2016. El rol de los fertilizantes en el aumento de la producción agropecuaria. [https://www.researchgate.net/profile/Fernando\\_Salvagiotti/publication/325893165\\_El\\_rol\\_de\\_los\\_fertilizantes\\_en\\_el\\_aumento\\_de\\_la\\_produccion\\_agropecuaria/links/5b2b058caca27209f37972a8/El-rol-de-los-fertilizantes-en-el-aumento-de-la-produccion-agropecuaria.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Salvagiotti/publication/325893165_El_rol_de_los_fertilizantes_en_el_aumento_de_la_produccion_agropecuaria/links/5b2b058caca27209f37972a8/El-rol-de-los-fertilizantes-en-el-aumento-de-la-produccion-agropecuaria.pdf). Ene 2019.

Shapiro, CA & CS, Wortmann. 2006. Corn Response to Nitrogen Rate, Row Spacing, and Plant Density in Eastern Nebraska. Agron. J. 98:529–535.

Shioga, PS; E, Lima & AC, Gerage. 2004. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.3, n.3, p.381-390

Sichocki, D; R, Mendes; CA, Guimarães; LA, Aquino; RA, Alves & PH Marques. 2014. resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e de fósforo. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.13, n.1, p. 48-58.

Soares, M. 2003. Influência de nitrogênio, zinco e boro e suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.). Tesis doctoral. Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil.

Tosquy, OH; R, Garza; G, Castañón & R, Morones. 1998. Fertilización edáfica y densidades de población para producción de semilla de líneas de maíz. Agricultura técnica en México. Vol 24.

Uhart, SA; FA, Ogando; AC, Santillán; CR, Vega; JP, Raimondi; R, Guillen & W Tanaka. 2018. Progreso genético en siembras tardías de maíz en la región pampeana Argentina: efecto de densidad poblacional y N. [http://congresodemaiz.com.ar/admin/doc\\_confirmados/12849090-CO-Uhart.pdf](http://congresodemaiz.com.ar/admin/doc_confirmados/12849090-CO-Uhart.pdf). Ene 2019.

Von Pinho, R; M R, Gross; AG, Steola & M Crus Mendes, M. 2008. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na região sudeste do Tocantins. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.3.733-739 pp.

Videla, M; H, Canale; & S, Muñoz. 2014. Evaluación de diferentes densidades de plantas de maíz en siembras tempranas en ambientes contrastantes del Territorio Sudeste de Córdoba.

[https://www.researchgate.net/profile/Horacio\\_Videla\\_Mensegue/publication/270274811\\_Evaluacion\\_de\\_diferentes\\_densidades\\_de\\_plantas\\_de\\_maiz\\_en\\_siembras\\_tempranas\\_en\\_ambientes\\_contrastantes\\_del\\_Territorio\\_Sudeste\\_de\\_Cordoba/links/56b094d008ae9c1968b78d45/Evaluacion-de-diferentes-densidades-de-plantas-de-maiz-en-siembras-tempranas-en-ambientes-contrastantes-del-Territorio-Sudeste-de-Cordoba.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Horacio_Videla_Mensegue/publication/270274811_Evaluacion_de_diferentes_densidades_de_plantas_de_maiz_en_siembras_tempranas_en_ambientes_contrastantes_del_Territorio_Sudeste_de_Cordoba/links/56b094d008ae9c1968b78d45/Evaluacion-de-diferentes-densidades-de-plantas-de-maiz-en-siembras-tempranas-en-ambientes-contrastantes-del-Territorio-Sudeste-de-Cordoba.pdf). Ene 2018.

Yan, P; J, Pan; W, Zhang, J, Shi, X, Chen & Z, Cui. 2017. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. *Plos one*. DOI:10.1371/journal.pone.0172717.

## Anexo

### Imágenes



Ensayo experimental, año 2015.



Visita del director de tesis al ensayo para medición de medición de variables, año 2015.



Medición de índice de verdor con SPAD, año 2015.