

**VARIABILIDAD DE LA PARTICIÓN DE BIOMASA A LA ESPIGA EN HÍBRIDOS  
DE MAÍZ (*Zea mays L.*) DE DIFERENTES ERAS. EFECTOS DEL NITRÓGENO Y  
LA DENSIDAD DE SIEMBRA**

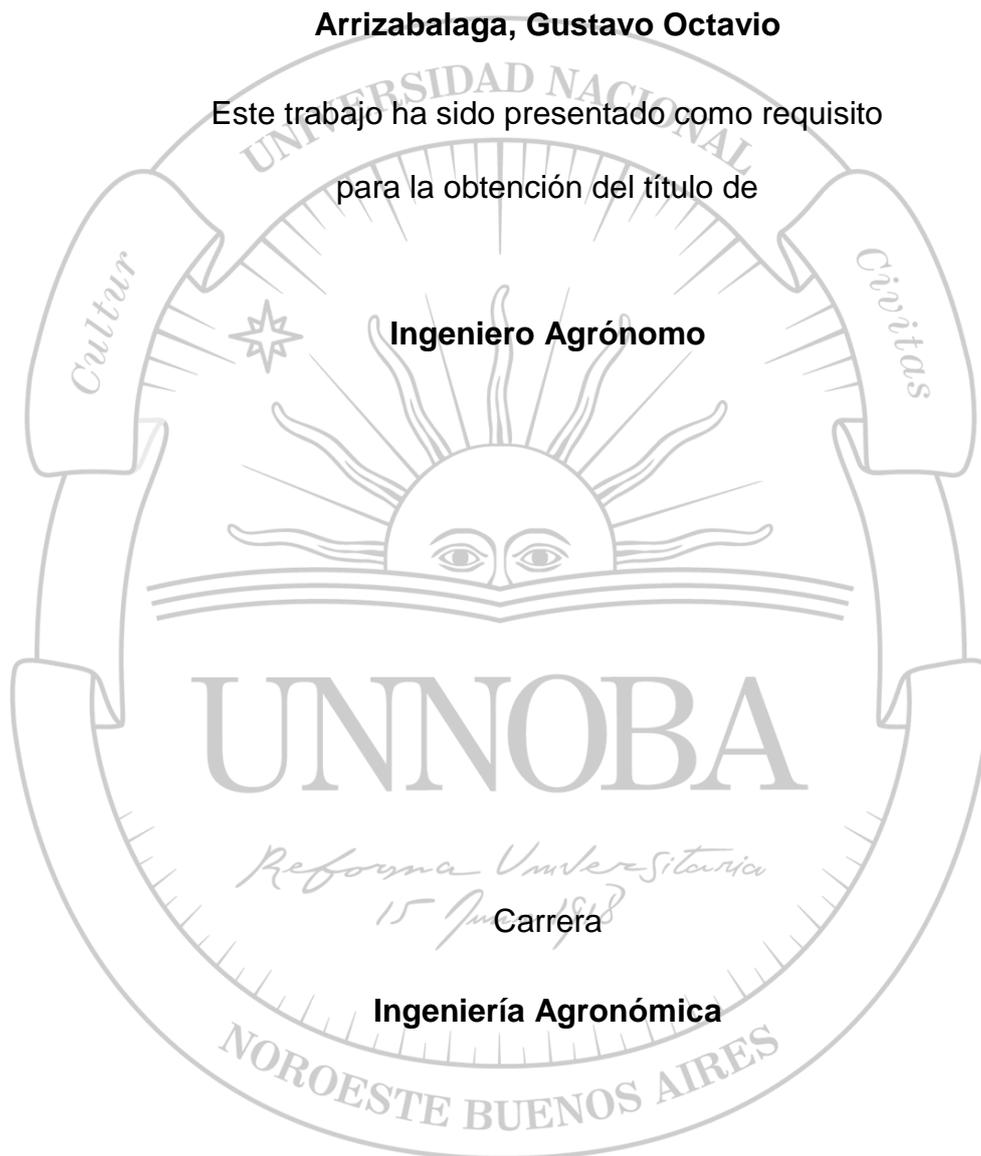
Trabajo final de grado

Del alumno

**Arrizabalaga, Gustavo Octavio**

Este trabajo ha sido presentado como requisito  
para la obtención del título de

**Ingeniero Agrónomo**



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales**

**Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Bs As**

**VARIABILIDAD DE LA PARTICIÓN DE BIOMASA A LA ESPIGA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ  
(*Zea mays L.*) DE DIFERENTES ERAS. EFECTOS DEL NITRÓGENO Y LA DENSIDAD  
DE SIEMBRA**

Trabajo Final de Grado

del alumno

**ARRIZABALAGA GUSTAVO**

Aprobada por el tribunal evaluador

**Roberto D´ Lorea**

**Roque Guillen**

**Marcelo E. Ferrer**

Ing. Agr. Dra. María de los  
Angeles Rossini

**Director**

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en primer lugar, a mis padres; Gustavo Arrizabalaga y Graciela Magistrello que desde el principio me ayudaron y apoyaron para poder estudiar esta hermosa carrera que me va a acompañar por el resto de mi vida. A mis hermanos Alexis, Verónica, y a mi abuela Cristina, que desde su lugar aportaron un granito de arena para lograr mi objetivo. Ellos me demostraron que siempre se puede salir adelante, juntos y unidos.

A mis dos ángeles, que desde el cielo me cuidan y protegen.

Innumerables serían las palabras para nombrar a todas las personas que contribuyeron para que esto fuese posible. Pero quiero mencionar a mi Hermano/Amigo Benito Matías, que convivió conmigo todos estos años. Quien supo sostenerme en los momentos más difíciles y estar conmigo cuando más lo necesitaba.

Agradecer a la doctora María de los Angeles Rossini quien estuvo siempre a disposición y supo guiar este trabajo, con predisposición, voluntad que la caracteriza.

Por último, agradecer a INTA, por la prestación de sus instalaciones y equipamientos para la realización del ensayo.

|  |           |
|--|-----------|
| <b><u>Índice</u></b>   | <b>4</b>  |
| <b><u>Resumen</u></b>  | <b>5</b>  |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1. Importancia del cultivo   | 7         |
| 1.2. Determinación del rendimiento en el cultivo de Maíz   | 8         |
| 1.3. Disponibilidad de Nitrógeno en el cultivo de Maíz   | 9         |
| 1.4. Densidad de plantas y mejoramiento genético en el cultivo de maíz   | 9         |
| 1.5. Variabilidad poblacional del cultivo de maíz y atenuación de la variabilidad  | 11        |
| <b>2. Hipótesis</b>  | <b>12</b> |
| <b>3. Objetivos (general)</b>  | <b>12</b> |
| 3.1. Objetivos específicos   | 13        |
| <b>4. Palabras clave</b>   | <b>13</b> |
| <b>5. Materiales y métodos</b>   | <b>13</b> |
| 5.1. Diseño experimental y tratamientos  | 13        |
| 5.2. Determinaciones   | 15        |
| 5.3. Tasa de crecimiento y partición en las jerarquías de plantas  | 16        |
| 5.4. Análisis estadístico  | 17        |
| <b>6. Resultados</b>   | <b>19</b> |
| 6.1. Condiciones de crecimiento del cultivo  | 19        |
| 6.2. Establecimiento de las jerarquías de plantas  | 21        |
| 6.3. Tasa de crecimiento de la planta, tasa de crecimiento de la espiga e índice de partición de las jerarquías de planta. | 23        |
| 6.4 Variabilidad poblacional del crecimiento y partición.  | 25        |
| 6.5 Tasa de crecimiento de la espiga en función de la tasa de crecimiento de la planta.                                    | 27        |
| <b>7. Discusión</b>  | <b>28</b> |
| <b>8. Conclusiones</b>   | <b>31</b> |
| <b>9. Bibliografía</b>   | <b>33</b> |

## **RESUMEN**

En el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), desde etapas tempranas (V4-V7), se establecen jerarquías de plantas (dominantes, promedio y dominadas) en función del grado de competencia por los recursos y del genotipo expuesto a esas condiciones. Estas jerarquías se mantienen hasta iniciado el período crítico para la determinación del número de granos, generando variaciones en las tasas de crecimiento de las plantas y en la partición de biomasa a la espiga. Esta respuesta repercute negativamente en la fijación de granos. La fertilización nitrogenada puede atenuar la variabilidad, pero la respuesta es genotipo-dependiente, siendo mayor en un híbrido caracterizado como tolerante al estrés. Por otra parte, el mejoramiento genético de maíz ha incidido positivamente en la tolerancia al estrés. Se desconoce si la capacidad de atenuación de la variabilidad en la partición de biomasa a la espiga, durante el período crítico por efecto de la fertilización, ha aumentado con el mejoramiento. El objetivo de este trabajo consistió en el estudio de la variabilidad de la partición de biomasa hacia la espiga durante el periodo crítico de híbridos de diferente época de liberación en condiciones contrastantes de densidad de plantas y nitrógeno. Tal como se esperaba, el aumento de la densidad aumentó la variabilidad del tamaño de las plantas en el estado de V6, pero la respuesta dependió del genotipo. Los híbridos más sensibles fueron el DK664 y DK190 (liberados en los '90 y 2000, respectivamente) y en menor medida el DK2F11 (liberado en el '80). Particularmente, el híbrido más moderno DK7210 resultó menos sensible a la competencia intraespecífica temprana. Las jerarquías tempranas se reflejaron en la partición a la espiga durante el período crítico para los genotipos DK7210 y DK190 (baja y alta, respectivamente). Sin embargo, el genotipo más antiguo la incrementó, puesto que presentó uno de los menores valores iniciales, pero fue el que mayor variabilidad tuvo durante el periodo crítico. Se encontró la respuesta esperada en cuanto al efecto de la disponibilidad de N sobre el crecimiento y la partición durante el período crítico. Sin embargo, la fertilización no modificó la variabilidad de los rasgos analizados en ninguno de los genotipos. Lo cual pudo deberse posiblemente a que no se ha logrado explorar el ambiente potencial, puesto que la disponibilidad hídrica haya sido insuficiente para la etapa del período crítico. Esto evidencia que los rasgos asociados a un mejor comportamiento de los genotipos se expresan en

ambientes potenciales. Será necesario explorar la respuesta de los materiales en situaciones de diferentes niveles de disponibilidad de N. La capacidad de reducción de la variabilidad poblacional de la partición a la espiga por la fertilización, aún en ambientes por debajo del potencial, sería un rasgo promisorio en la selección de genotipos destinados a este tipo de ambientes.

## **1. Introducción**

### **1.1. Importancia del cultivo de maíz**

El maíz, *Zea mays* L. pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas. Es uno de los cereales más importantes a nivel mundial gracias a su alto contenido energético en grano. Se utiliza como alimento humano y también se requiere para la formación de alimento animal y fermentado para varios productos industriales. Así, el destino de la producción tiene dos objetivos principales, suplir necesidades alimenticias y generar valor al grano a través de la transformación del mismo en carne. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), es el cereal con mayor producción del mundo con 1.147.621.938 toneladas (FAOSTAT, 2018).

El continuo crecimiento de la población mundial, en mayor o menor grado ha sido acompañado por un incremento en la producción del cultivo de cereales, entre ellos, el maíz. A nivel mundial, su aumento se explica a lo largo del tiempo a través de dos fenómenos. Uno de ellos fue el aumento de la superficie implantada. El otro, fue el incremento de rendimiento por unidad de superficie. Esto se ha logrado a través del mejoramiento genético (uso de híbridos simples, biotecnología) y a las tecnologías de manejo (fertilización, riego y manejo sanitario) (Gear, 2006). A nivel nacional, la producción de maíz presenta restricciones debido al desplazamiento que ha sufrido este cultivo por otros (predominancia del monocultivo de Soja), por su alto costo de implantación, y esquema de retenciones, que disminuyen la rentabilidad.

Las altas dosis de nitrógeno (N) para la producción actual de los cultivos ha llevado a severos problemas ambientales (como ser la contaminación de aguas subterráneas, aumento de los gases de efecto invernadero) y a una disminución marcada de la eficiencia en el uso del N (EUN, kg de grano por unidad de N absorbido) (Cassman *et al.* 2003). Por lo tanto, es primordial el uso de prácticas de manejo y programas de mejoramiento a fin de reducir el impacto ambiental y aumentar el margen bruto del cultivo. Dentro de las alternativas del mejoramiento genético, es importante el desarrollo de genotipos más eficientes en la utilización del N, pudiéndose disminuir las dosis de fertilizante normalmente aplicadas a nivel de campo, logrando igual o mayor rendimiento.

## 1.2. Determinación del rendimiento en el cultivo de maíz

El rendimiento de un cultivo de grano es el producto del número de granos (NG) por unidad de superficie y del peso de los granos. El NG fijado es el principal componente determinante y explica en gran medida las variaciones en el rendimiento entre ambientes. El peso del grano, por su parte, es función de la duración del período de llenado y de la tasa de llenado ( $\text{g día}^{-1}$ ) pero explica en menor medida las variaciones en el rendimiento (Satorre *et al.* 2003).

El NG en el cultivo de maíz tiene dos sub-componentes numéricos, el número de plantas por unidad de superficie y el número de granos por planta (NGP). El último sub-componente queda establecido en un período de aproximadamente 30 días centrado en la floración femenina y es lo que se conoce como período crítico (Andrade *et al.* 1999). El mismo, coincide con el crecimiento activo de la espiga, la emergencia de estigmas y el inicio del llenado del grano (fase lag). Durante ese período, la tasa de crecimiento por planta (TCP) es indicativa de la condición fisiológica de la misma y por lo tanto de su capacidad para fijar granos (Andrade *et al.* 1999). La TCP depende de numerosos factores, como la densidad de siembra, la temperatura, los niveles de radiación, la disponibilidad de agua y nutrientes y del genotipo (Otegui y Andrade 2000; Andrade *et al.* 2002). Sin deficiencias hídricas y/o nutricionales, el NGP se relaciona con la TCP en el período crítico de manera curvilínea. Esta relación se caracteriza por un valor umbral de TCP para la fijación de granos y un valor máximo de TCP a partir del cual el NGP se mantiene estable o puede aumentar dependiendo de la capacidad del genotipo de fijar una segunda espiga. El umbral para la fijación de granos y la no linealidad en la relación anteriormente planteada sugiere que factores distintos a la TCP modifican el NGP, incluyendo la partición de biomasa a la espiga y un mínimo requerimiento de asimilados para sostener la actividad meristemática (Charles-Edwards 1984).

La partición reproductiva es la proporción del crecimiento o biomasa total alojada en tejidos reproductivos (Donald y Hamblin 1976; Gifford *et al.* 1984; Hay 1995; Sinclair 1998). A bajos valores de TCP, la partición hacia la espiga se vuelve muy variable (Vega *et al.* 2001) y disminuye considerablemente hasta llegar a un valor umbral para el crecimiento reproductivo. Este umbral ha estado frecuentemente

asociado con la pérdida de prioridad de asignación de asimilados a la espiga en relación a otros destinos simultáneos (Eastin 1970; Edmeades y Daynard 1979; Daynard y Muldoon 1983; Uhart y Andrade 1995), dando como consecuencia plantas sin fijación de granos.

### **1.3. Disponibilidad de N en el cultivo de maíz**

Planteos productivos con elevada intensificación, pocas rotaciones y fertilizaciones por debajo de los requerimientos del cultivo, han llevado a la pérdida de fertilidad química y física de los suelos. El N es el macronutriente más importante para la determinación del rendimiento. Se requiere en cantidades elevadas por tonelada de grano producido en comparación con los demás nutrientes. Forma parte de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, vitaminas y hormonas cumpliendo con funciones fisiológicas de vital importancia para el vegetal. Es muy común observar deficiencias nitrogenadas en los distintos estadios fenológicos del cultivo. Esto genera una reducción en la producción de biomasa, derivada de la disminución del área foliar por planta lo cual trae como consecuencia una disminución del rendimiento (McCullough *et al.* 1994a, 1994b; Uhart y Andrade 1995; Boomsma *et al.* 2009).

El efecto a campo de un estrés por N en el cultivo de maíz puede explicarse a través de la relación curvilínea anteriormente mencionada (i.e. el NGP es función de la TCP). Deficiencias de N que promueven una disminución en la TCP provocan una reducción del NGP con un patrón de respuesta curvilínea (Andrade *et al.* 2002). Aunque en ciertos genotipos creciendo en condiciones de deficiencia de N, puede existir un efecto directo del N, independiente del crecimiento, sobre la partición de biomasa a la espiga (D'Andrea *et al.* 2008) o sobre la eficiencia reproductiva (Rossini *et al.* 2011).

### **1.4. Densidad de plantas y mejoramiento genético en el cultivo de maíz**

La densidad de plantas (número de individuos por unidad de superficie) tiene un impacto importante en el rendimiento de un cultivo (Andrade *et al.* 1996). En el caso particular del maíz es una planta con baja plasticidad que no tiene capacidad

de compensación ante una baja densidad y es altamente sensible (i.e. acentuada disminución del rendimiento) ante un aumento de la cantidad de individuos por unidad de área. Así, el rendimiento del cultivo de maíz responde de manera parabólica ante el incremento de la densidad (Hernández *et al.* 2014), caracterizándose respecto a otros cultivos por tener una densidad óptima.

En situaciones de densidad supra-óptima, los individuos reducen exacerbadamente su crecimiento provocando disminuciones muy marcadas del número de granos por planta y un aumento en la cantidad de plantas estériles (i.e. sin granos) (Tetio-Kagho y Gardner 1988). Esta respuesta deriva del efecto combinado de:

- Una disminución en la tasa fotosintética por planta (Edmeades y Daynard 1979) y en la tasa de crecimiento de la planta (Tollenaar *et al.* 1992; Andrade *et al.* 1999).
- Un patrón jerárquico en el desarrollo y crecimiento reproductivo en el que la panoja se convierte en un destino dominante de fotoasimilados por sobre la espiga (dominancia apical).

El mejoramiento genético de maíz ha logrado una mayor tolerancia al estrés por alta densidad resultando en un mayor NG por unidad de superficie (Russell 1984; Castleberry *et al.* 1984; Tollenaar *et al.* 1992; Duvick 1997; Tollenaar y Wu 1999; Echarte *et al.* 2000; Tollenaar y Lee 2002). Detrás de esta tendencia se encuentra la mayor fijación de granos por unidad de TCP ante bajas TCP, y el mayor potencial (i.e. mayor NGP) en altos valores de TCP para los híbridos modernos. No existe en cambio consenso respecto al umbral mínimo de TCP que permite la fijación de granos. De todas maneras, todos los trabajos concuerdan en que el mayor NGP TCP<sup>-1</sup> como consecuencia del mejoramiento genético fue debido principalmente a una mejora en la partición de biomasa hacia la espiga y no como consecuencia de una mayor fijación de granos por unidad de tasa de crecimiento de la espiga en el período crítico (i.e. eficiencia reproductiva) (Tollenaar *et al.* 1992; Echarte *et al.* 2000, 2004; Luque *et al.* 2006).

### **1.5. Variabilidad poblacional del cultivo de maíz y atenuación de la variabilidad**

A una determinada densidad de plantas, en un híbrido simple de maíz existe una variabilidad entre los individuos de un stand que puede ser el resultado de una desuniformidad en el tiempo de emergencia y en el espaciamiento entre plantas a lo largo de la hilera de siembra (Liu *et al.* 2004). Tales irregularidades en el espaciamiento entre plantas están relacionadas al mecanismo de siembra utilizado, mientras que la desuniformidad en la emergencia responde a la profundidad de siembra, las bajas temperaturas del suelo y el pobre contacto semilla-suelo.

Adicionalmente, se ha determinado que dentro de un stand de plantas genética y ontogénicamente idénticas (i.e. híbridos simples con plantas perfectamente uniformes en desarrollo y tamaño inicial) creciendo bajo condiciones de alta competencia intra-específica, aparecen individuos con diferente habilidad para la captura de recursos (Maddonni y Otegui, 2004; Pagano y Maddonni, 2007). Así, las plantas más altas del stand son en general aquellas con una mayor capacidad de competencia por luz y que pueden ser identificadas como las “dominantes”. Por el contrario, aquellas plantas pequeñas que tienen una baja capacidad para la captura de recursos aéreos son las llamadas “dominadas” dentro del stand. Las altas densidades actualmente utilizadas en el cultivo de híbridos de maíz promueven la aparición de estas jerarquías de plantas desde etapas tempranas del ciclo (V4-V7) (Maddonni y Otegui 2004). Estas jerarquías generan diferentes TCPs durante el periodo crítico, resultando en una alta variabilidad de la partición de biomasa a la espiga y en la fijación de granos dentro del cultivo (Maddonni y Otegui 2004; Pagano y Maddonni 2007) penalizando consecuentemente el rendimiento por unidad de área (Tollenaar y Lee 2002). Adicionalmente, en ambientes de baja disponibilidad de N, la competencia intraespecífica es aún más acentuada, incrementándose las diferencias entre jerarquías y por ende en la disminución del rendimiento.

Sin embargo, existe la posibilidad de atenuación de dicha variabilidad a lo largo de las etapas reproductivas tempranas (V7-V13) y tardías (período crítico), especialmente en cultivos sin limitación de recursos edáficos (i.e. con fertilización nitrogenada, Rossini *et al.* 2011). La magnitud de la atenuación de la variabilidad

puede ser genotipo-dependiente. Así, el efecto de la fertilización resultó menor en un híbrido calificado como intolerante al estrés respecto a otro híbrido más tolerante (Rossini *et al.* 2011). Esta respuesta diferencial en cuanto a la capacidad de atenuación de la variabilidad incide directamente en la EUN para producir grano a nivel de cultivo (Rossini *et al.* 2018).

Hasta el momento, se desconoce si el mejoramiento genético ha incidido sobre la capacidad de atenuación de la variabilidad poblacional por efecto de la fertilización en condiciones de elevada competencia intraespecífica. El estudio en genotipos de diferente época de liberación creciendo en condiciones contrastantes de densidad de plantas y disponibilidades de N puede ser de utilidad para comprender los procesos involucrados detrás de la mejora en rendimiento en situaciones de estrés nutricional.

## **2. Hipótesis**

- 1) La variabilidad poblacional temprana de la biomasa por planta (V6) condiciona la partición de biomasa a espiga durante el periodo crítico en mayor magnitud en genotipos más antiguos.
- 2) La variabilidad poblacional en la partición a la espiga se reduce por una mejora en el ambiente (fertilización nitrogenada) en mayor medida en los genotipos más modernos que en los antiguos.

## **3. Objetivo general**

Estudiar la variabilidad poblacional de partición a espiga (tasa de crecimiento de la espiga/ tasa de crecimiento de la planta) durante el período crítico en genotipos de diferente época de liberación, desde la década del 80 al 2010, en condiciones contrastantes de disponibilidad de N y densidad de plantas.

### **3.1. Objetivos específicos**

1. Analizar la tasa de crecimiento de la planta, la tasa de crecimiento de la espiga y la partición a espiga durante el período crítico para las diferentes jerarquías de planta.
2. Estudiar el efecto de la disponibilidad de N, densidad y los genotipos en las variables estudiadas.

### **4. Palabras clave**

Maíz, variabilidad poblacional, partición, híbridos, nitrógeno.

### **5. Materiales y métodos**

#### **5.1. Diseño experimental y tratamientos**

Se realizó un ensayo a campo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA localizada en Pergamino (33°56' S, 60°34' O) Argentina, en un Argiudol Típico. El mismo se caracteriza por ser un suelo con un horizonte diagnostico superficial mólico de coloración oscura, bien estructurado, MO>1% y un horizonte diagnostico subsuperficial argilico, es decir, un horizonte B que se forma por iluviación de arcilla.

Se sembraron cuatro híbridos simples de maíz de diferente época de liberación: Dekalb 2 F 11 (1984) (DK2F11), DK 664 (1993) (DK664), DK 190 MG RR2 (2007) (DK190) y DK 72-10VT3PRO (2012) (DK7210), el día 23 de Octubre de 2017. Estos genotipos son representativos de la mayor superficie sembrada en la región en cada década.

El ensayo se llevó adelante utilizando un diseño factorial en parcelas subdivididas en bloques o repeticiones (3) dentro de los cuales se distribuyeron los tratamientos:

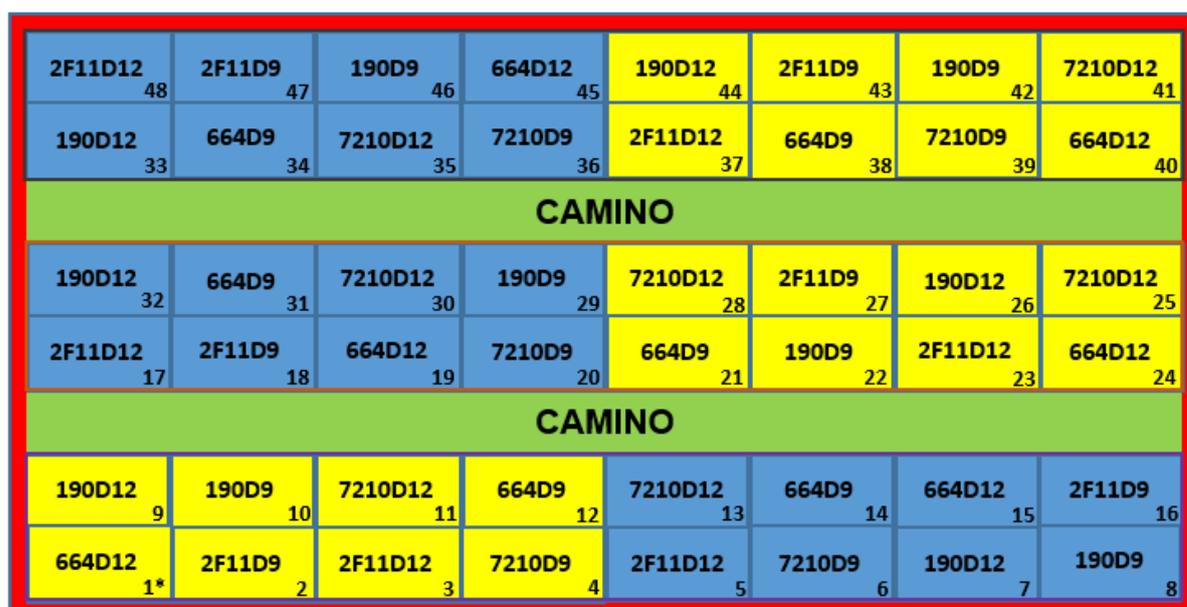
- Nivel de fertilización (Nn): a) Testigo sin fertilización (N0) y b) 200 kg/Ha de N (N200) aplicado en V6.

-Combinación de densidad de plantas (Dn): a) 9 plantas m<sup>-2</sup> (D9) y b) 12 plantas m<sup>-2</sup> (D12) e híbridos (H): a) DK2F11; b) DK664; c) DK190; d) DK7210.

Cada bloque constó de 16 parcelas, las cuales resultaron de la interacción entre los 3 tratamientos. El nivel de N se encontró en la parcela principal, y las combinaciones de densidad e híbrido en la subparcela. La totalidad del ensayo abarcó 48 parcelas (3 bloques) (Figura 1).

Las unidades experimentales (de aquí en más llamadas parcelas) constaron de cinco hileras de 5 metros de longitud, separadas entre sí a una distancia de 0,52 m. Se realizó un tratamiento químico en pre-siembra del cultivo (herbicidas). Luego en post-emergencia se hizo un control manual de malezas. Las parcelas fueron sembradas de manera manual con dos o tres semillas por golpe y luego raleadas manualmente en el estado de V3 a las densidades de plantas deseadas. El experimento tuvo riego complementario durante el período crítico. El experimento estuvo rodeado por dos hileras sembradas con maíz a fin de disminuir el “efecto bordura” sobre las parcelas.

**Figura 1.** Esquema del ensayo



- \*Parcela ; — Bloque 1 ; — Bloque 2 ; — Bloque 3
- ■ Bordura ; ■ Sin Nitrógeno (N0) ; ■ Con Nitrógeno (N200)

## 5.2. Determinaciones

En cada parcela, en el estado de V3 se marcó un sitio de 9 plantas perfectamente uniformes dentro de las tres hileras centrales. En V6 se utilizaron mediciones morfométricas para la determinación de las jerarquías de las plantas. Además, se realizaron las mismas mediciones a cada planta marcada en los estados de V13, R1 y R2 para la estimación de biomasa a través de modelos alométricos. Las mediciones incluyeron diámetro de la base del tallo (valores mínimo y máximo), altura de la planta desde el nivel del suelo hasta la lígula de la última hoja expandida, y máximo diámetro de la espiga (en R1 y R2).

Para la construcción de los modelos alométricos para cada híbrido, se recolectaron (desde V13 a R2) 15-20 plantas de diferentes tamaños de todos los tratamientos de densidad y N (Maddonni y Otegui 2004; Pagano y Maddonni 2007). Las plantas se cosecharon de manera individual, separando la espiga del resto de la planta, fraccionando tallos y hojas para homogeneizar el secado. Posteriormente, cada planta se secó en estufa a 70°C hasta peso constante. Estos modelos están basados en relaciones que incluyeron (i) el volumen del tallo (en  $\text{cm}^3$ ) y la biomasa de la planta (la espiga excluida en R2), y (ii) el máximo diámetro de la espiga (en mm) y la biomasa de la espiga (en R1 y R2) (Cuadros 1 y 2). El volumen del tallo se obtuvo de una fórmula cilíndrica, utilizando para su cómputo el diámetro promedio del tallo y la altura de la planta. El efecto de la disponibilidad de N sobre los parámetros del modelo fue testeado mediante el test de pendiente (Graph Prism 5.0). Cuando se hallaron diferencias significativas entre niveles de N para los parámetros se realizaron ajustes individuales para cada condición de N (e.g. híbrido 2F11, Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Parámetros del modelo alométrico para estimar biomasa de la planta.

| Híbrido | Nitrógeno | Estado Fenológico |                   |                                  |
|---------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------------------|
|         |           | V13-R2            |                   |                                  |
|         |           | <i>a</i>          | <i>b</i>          | <i>r</i> <sup>2</sup> ; <i>n</i> |
| DK2F11  | N0        | 11,38 ± 2,272     | 0,1576 ± 0,007991 | 0,8644;63                        |
|         | N200      | 8,588 ± 4,622     | 0,1400 ± 0,01025  | 0,8459;36                        |
| DK664   | N0 y N200 | 15,48 ± 1,585     | 0,1385 ± 0,004805 | 0,8656;131                       |
| DK190   | N0 y N200 | 13,57 ± 2,433     | 0,1508 ± 0,007353 | 0,7897;114                       |
| DK7210  | N0 y N200 | 16,44 ± 1,484     | 0,1314 ± 0,003855 | 0,9070;121                       |

Se ajustó una regresión lineal del tipo biomasa =  $a + b x$ ; donde *a* es ordenada al origen y *b* es la pendiente.

**Cuadro 2.** Parámetros del modelo alométrico para estimar biomasa de la espiga.

| Híbrido | Nitrógeno | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>r</i> <sup>2</sup> , <i>n</i> |
|---------|-----------|----------|----------|----------------------------------|
| DK2F11  | N0 y N200 | 0,2840   | 0,1137   | 0,9409; 43                       |
| DK664   | N0 y N200 | 1,050    | 0,08499  | 0,5258; 69                       |
| DK190   | N0 y N200 | 0,8149   | 0,08407  | 0,8993; 47                       |
| DK7210  | N0 y N200 | 0,5898   | 0,09030  | 0,9149; 62                       |

Se ajustó una regresión exponencial del tipo biomasa =  $ax^b$

### 5.3. Tasa de crecimiento y partición en las jerarquías de plantas

Las jerarquías de plantas dentro de cada parcela se establecieron en función del volumen de la planta en el estado de V6 (detallado en Sección 5.2). Así, las plantas de cada parcela se ordenaron de menor a mayor volumen y se agruparon en terciles. El tercil superior (33% de plantas de mayor volumen) correspondió a la jerarquía de plantas dominantes, el tercil medio (33% de plantas de volumen medio) a la jerarquía de plantas promedio y el tercil inferior (33% de plantas de menor volumen) correspondieron a las plantas dominadas. El resto de las cuantificaciones

(tasa de crecimiento de la planta, de la espiga e índice de partición) se realizaron en función de los tres grupos jerárquicos definidos tempranamente.

La tasa de crecimiento por planta (TCP) y de la espiga (TCE) se calculó a través de la pendiente de la relación lineal ajustada entre la biomasa estimada de la planta o de la espiga acumulada (detalle en sección 5.2) en los estadios fenológicos (V13, R1 y R2) y el tiempo.

El índice de partición (IP) se calculó como el cociente entre la tasa de crecimiento de la espiga y la tasa de crecimiento de la planta (Ecuación 1)

$$IP = \frac{TCE}{TCP} \quad (1)$$

#### 5.4. Análisis estadístico

A fin de caracterizar la variabilidad de la parcela, se calculó el coeficiente de variación (CV) de las variables Volumen en V6, TCP, TCE e IP (Ecuación 2).

$$CV (\%) = \left( \frac{\text{Desvio estandar}}{\text{Promedio}} \right) * 100 \quad (2)$$

Los efectos de los tratamientos en los valores medios de las jerarquías fueron evaluados realizando un ANOVA mediante el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.* 2017). El modelo descrito es como el detallado en la Ecuación 3.

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + N_j + [BN]_{ij} + DH_k + (NDH)_{jk} + [BNDH]_{ijk} + J_l + (NJ)_{jl} + (DHJ)_{kl} + (NDHJ)_{jkl} + E_{ijkl} \quad (3)$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $B_i$  es el efecto del bloque  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ),  $N_j$  es el efecto del Nitrógeno  $j$  ( $j = 1, 2$ ),  $DH_k$  es el efecto de la combinación Densidad x Híbrido  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ),  $J_l$  es el efecto de la jerarquía  $l$  ( $l = 1, 2, 3$ ). Los términos entre paréntesis corresponden a las interacciones,  $[BN]_{ij}$  es el error de la parcela principal,  $[BNDH]_{ijk}$  es el error de la subparcela y  $E_{ijkl}$  es el error total. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

Los efectos de los tratamientos en los coeficientes de variación fueron evaluados realizando un ANOVA mediante el modelo descripto detallado en la Ecuación 4.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + N_j + [BN]_{ij} + DH_k + (NDH)_{jk} + E_{ijk} \quad (4)$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $B_i$  es el efecto del bloque  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ),  $N_j$  es el efecto del Nitrógeno  $j$  ( $j = 1, 2$ ),  $DH_k$  es el efecto de la combinación Densidad  $\times$  Híbrido  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ). Los términos entre paréntesis corresponden a las interacciones,  $[BN]_{ij}$  es el error de la parcela principal y  $E_{ijk}$  es el error total. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

Cuando fue necesario, los datos han sido transformados para lograr los supuestos de esta prueba (Homogeneidad de varianzas y distribución normal) (e.g. para TCP, IP y los CVs).

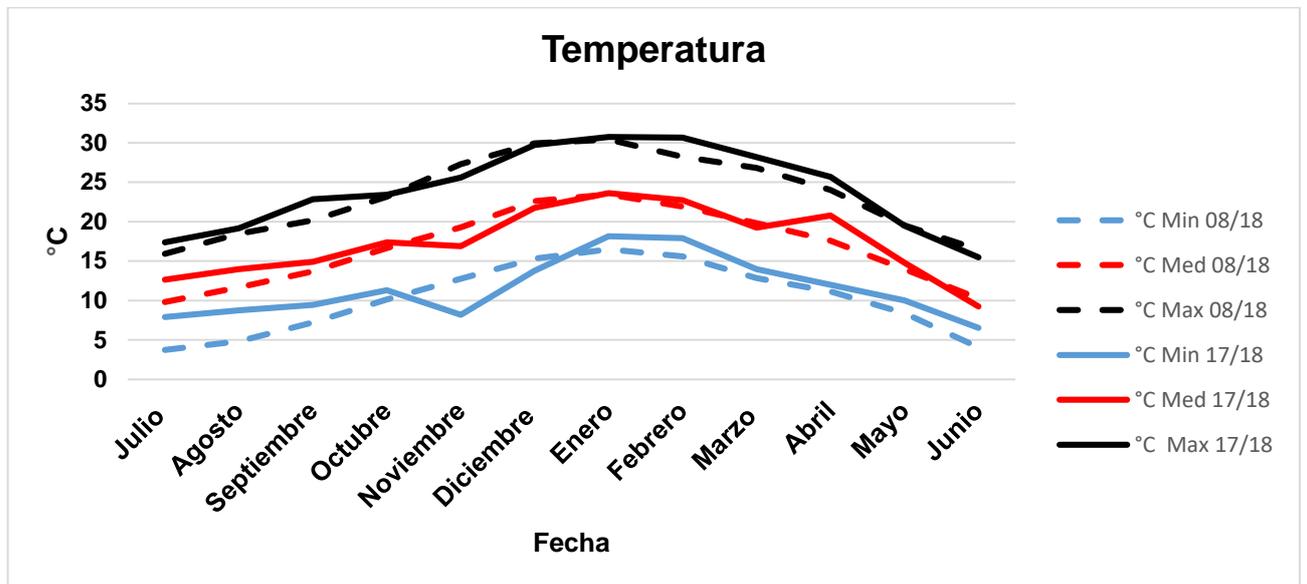
La relación entre las variables fue evaluada mediante análisis de regresión con el software GraphPad Prism 5.0.

## **6. Resultados**

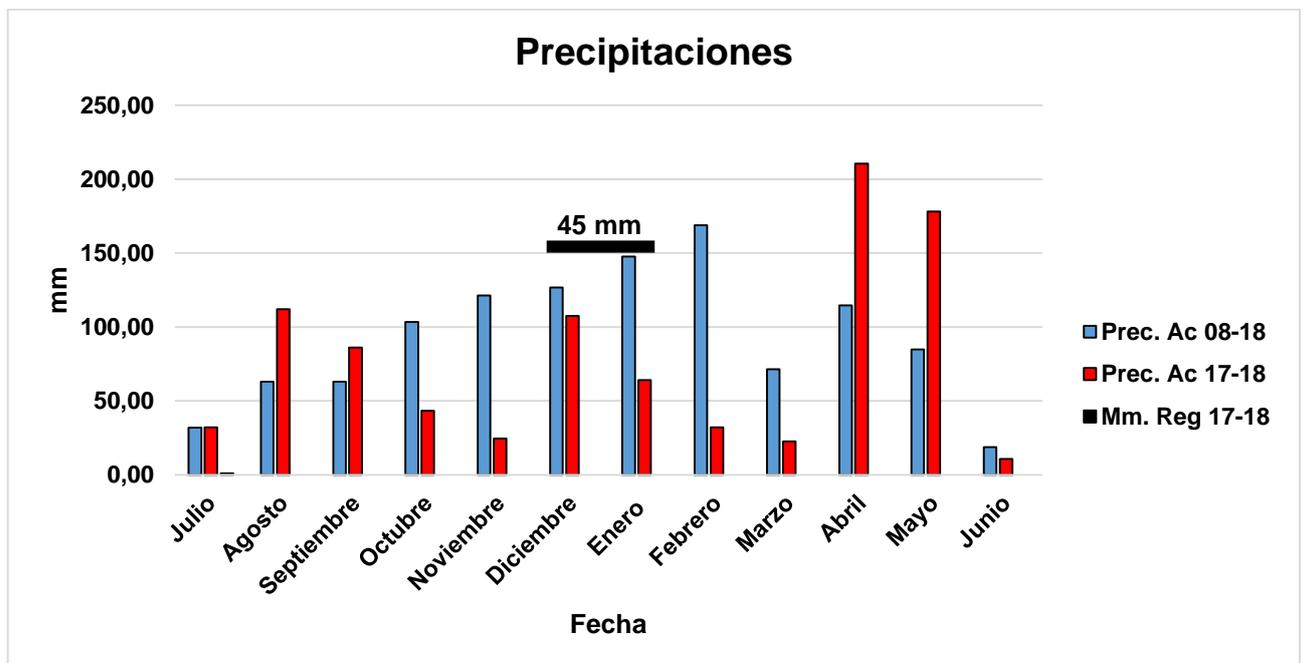
### **6.1 Condiciones de crecimiento del cultivo**

Durante el periodo vegetativo (octubre, noviembre y diciembre) el cultivo exploró, temperaturas medias similares a la temperatura media histórica de la zona (Temperaturas medias de los últimos 10 años durante los 3 meses: 19,52°C vs. Temperatura media durante el ensayo: 18,7°C) (Figura 2), precipitaciones acumuladas por debajo de la media histórica (Precipitaciones Ac. durante los últimos 10 años: 351,55 mm vs. Precipitación durante el ensayo: 175,6 mm) (Figura 3) y una radiación solar acumulada apenas por debajo de la media histórica (Radiación media Ac. últimos 10 años durante los 3 meses: 945,07 Mj/m<sup>2</sup> vs. Radiación Ac. Durante el ensayo: 923,54 Mj/m<sup>2</sup>) (Figura 4). En el período crítico (enero y febrero) el cultivo exploró temperaturas medias similares a la media histórica (temperatura media durante los últimos 10 años: 22,68°C vs. 23,18 °C), precipitaciones acumuladas muy por debajo de la media histórica (Precipitaciones Ac. durante los últimos 10 años: 316,46 mm vs. Precipitaciones Ac. Durante el ensayo: 96,1 mm) con lo cual se decidió colocar riego artificial para suplir las necesidades hídricas del cultivo. Se regaron 45 mm durante el periodo crítico. La radiación solar fue similar a la media de los últimos 10 años (Radiación Ac. durante los últimos 10 años: 977,38 Mj/m<sup>2</sup> vs. Radiación durante el ensayo: 949,19 Mj/m<sup>2</sup>). Durante la etapa de llenado de granos (Marzo, Abril y Mayo), el cultivo exploró temperaturas medias levemente por encima de la media historia en los últimos 10 años (Temperatura media de los últimos 10 años: 17,13 °C vs. Temperatura durante el ensayo: 18,27 °C), precipitaciones acumuladas por encima de la media histórica (Precipitaciones Ac. en los últimos 10 años: 270,63 mm vs. Precipitaciones Ac. Durante el ensayo 411,4 mm) y una radiación solar por encima del histórico (Radiación media Ac. de los últimos 10 años: 909,95 Mj/m<sup>2</sup> vs Radiación durante el ensayo: 939,38 Mj/m<sup>2</sup>).

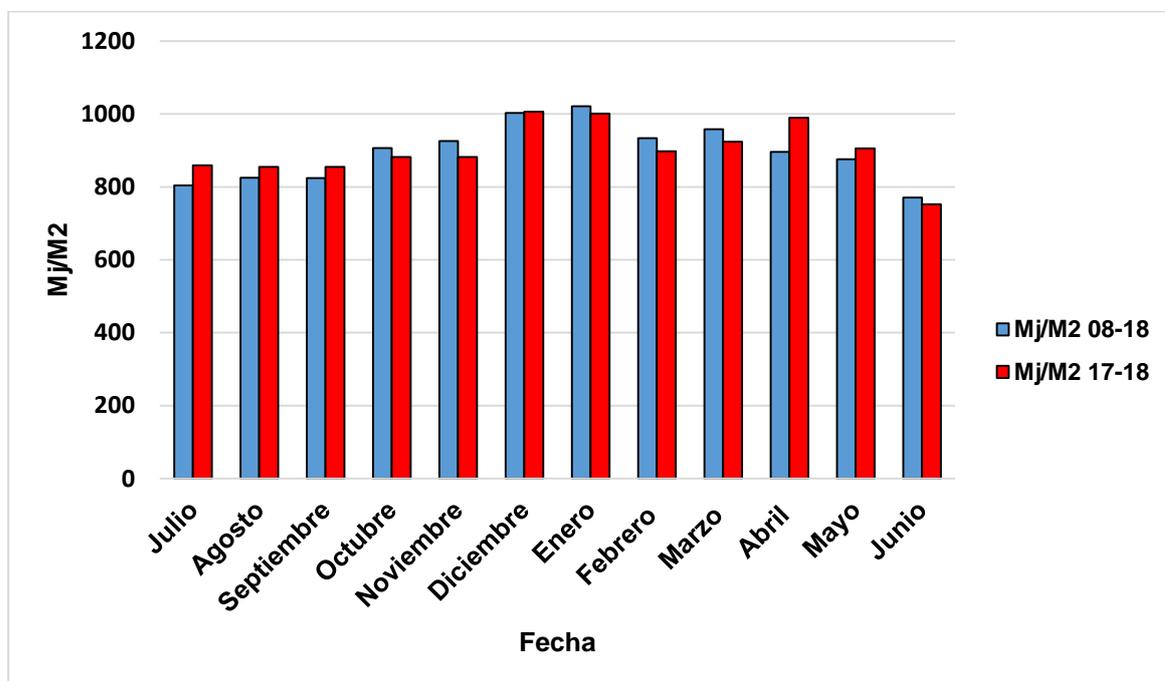
**Figura 2.** Temperatura medida en °C. Serie histórica 10 años y campaña agrícola 17/18 desde 01/07/17 hasta 30/06/18.



**Figura 3.** Precipitaciones acumuladas medidas en milímetros. Serie histórica de 10 años y campaña agrícola 17/18 desde 01/07/17 a 30/06/18.



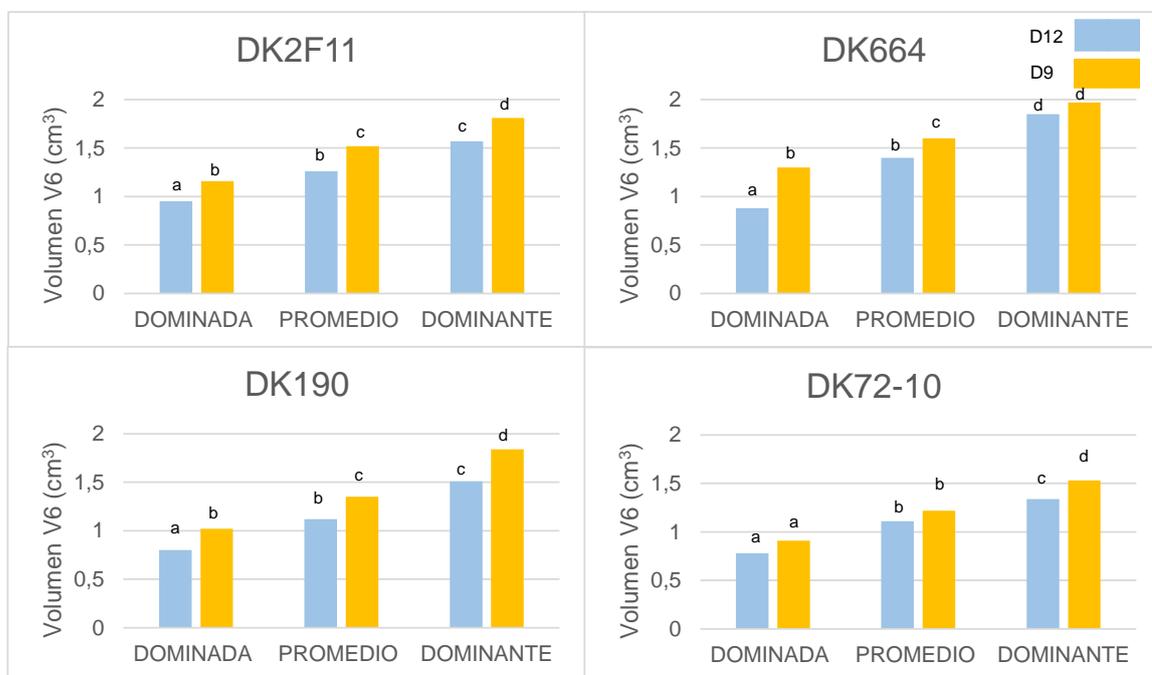
**Figura 4.** Radiación solar acumulada medida en Mj/m<sup>2</sup>. Serie histórica de 10 años y campaña agrícola 17/18, desde 01/07/2017 hasta 30/06/2018.



## 6.2 Establecimiento de las jerarquías de plantas

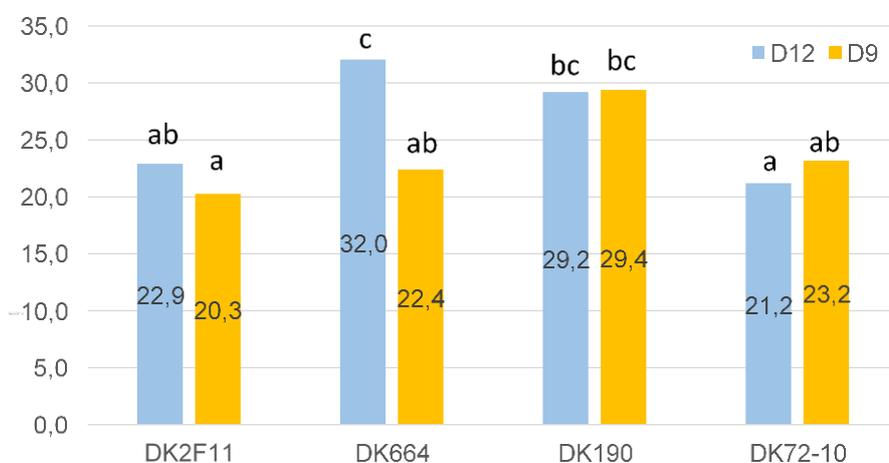
Las jerarquías de plantas difirieron en el Volumen de las plantas en V6, pero las diferencias dependieron del híbrido y de la densidad de plantas (interacción DH × J,  $p < 0,05$ ). Así, las tres jerarquías difirieron entre sí (dominadas < promedio < dominantes) para todos los híbridos en ambas densidades, pero el DK664 en alta densidad evidenció mayor diferencia entre las jerarquías extremas, mientras que el DK7210 presentó las menores diferencias entre las jerarquías (Figura 5). Esta respuesta se vio reflejada en el coeficiente de variación del volumen de las plantas (efecto DH;  $p < 0,01$ ). Así, el híbrido DK664 fue el único que presentó diferencias entre densidades ( $D_{12} > D_9$ ) para este rasgo. Además este híbrido y el DK190 en ambas densidades presentaron los mayores valores respecto al resto de los híbridos (Figura 6). No se detectaron diferencias significativas entre niveles de N ni otras interacciones para ambos rasgos.

**Figura 5.** Volumen de las jerarquías de plantas en el estado de V6 para cuatro híbridos de diferente época de liberación sembrados en dos densidades de plantas (9 y 12 plantas m<sup>-2</sup>).



\*Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) dentro de cada híbrido.

**Figura 6.** Coeficiente de variación del volumen de las plantas en el estado de V6 (CV Vol. V6) para cuatro híbridos de diferente época de liberación sembrados en dos densidades de plantas (9 y 12 plantas m<sup>-2</sup>).



\*Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) dentro de cada híbrido.

### **6.3 Tasa de crecimiento de la planta, tasa de crecimiento de la espiga e índice de partición de las jerarquías de planta**

El efecto de la fertilización nitrogenada (N) resultó significativo ( $0,01 < p < 0,05$ ) en las tres variables analizadas correspondientes al período crítico (Cuadro 3). En respuesta, la TCP aumentó un 25%, la TCE un 58% y el IP un 32%.

Se encontró un efecto DH estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) para las tres variables analizadas (Cuadro 3). En los cuatro genotipos, el aumento de la densidad tuvo un efecto negativo sobre la TCP y la TCE, siendo esta última levemente más sensible (reducción del 44%) que la primera (39%). El híbrido más antiguo DK2F11 presentó los menores valores de TCP, TCE e IP (en ambas densidades) en comparación a los demás híbridos ( $DK2F11 < DK190 = DK7210 = DK664$ ). Adicionalmente, este híbrido antiguo presentó una notable reducción (sensibilidad) de ambas variables por efecto de la densidad (48 y 52% para TCP y TCE, respectivamente) respecto al resto de los híbridos (33-38 y 38-43% para TCP y TCE, respectivamente). En cuanto al IP, sólo los híbridos DK2F11 y DK190 fueron particularmente sensibles ante el aumento de la densidad (13% de reducción;  $p < 0,001$ ) respecto a DK664 y DK7210 (Cuadro 3).

Las tres jerarquías de plantas difirieron significativamente en la TCP y la TCE ( $p < 0,001$ ; Cuadro 3) en todas las combinaciones de  $N \times DH$ . Las plantas dominantes presentaron las mayores TCP y TCE que las promedio y éstas que las plantas dominadas. Se encontró una interacción  $DH \times J$  ( $p < 0,05$ ) para el IP, para la cual las jerarquías extremas difirieron en el IP (dominadas < dominantes) sólo en los híbridos DK190 y DK7210 en ambas densidades. Contrariamente, en los híbridos DK2F11 y DK664 en ambas densidades, las jerarquías de plantas presentaron similares IPs (Figura 7).

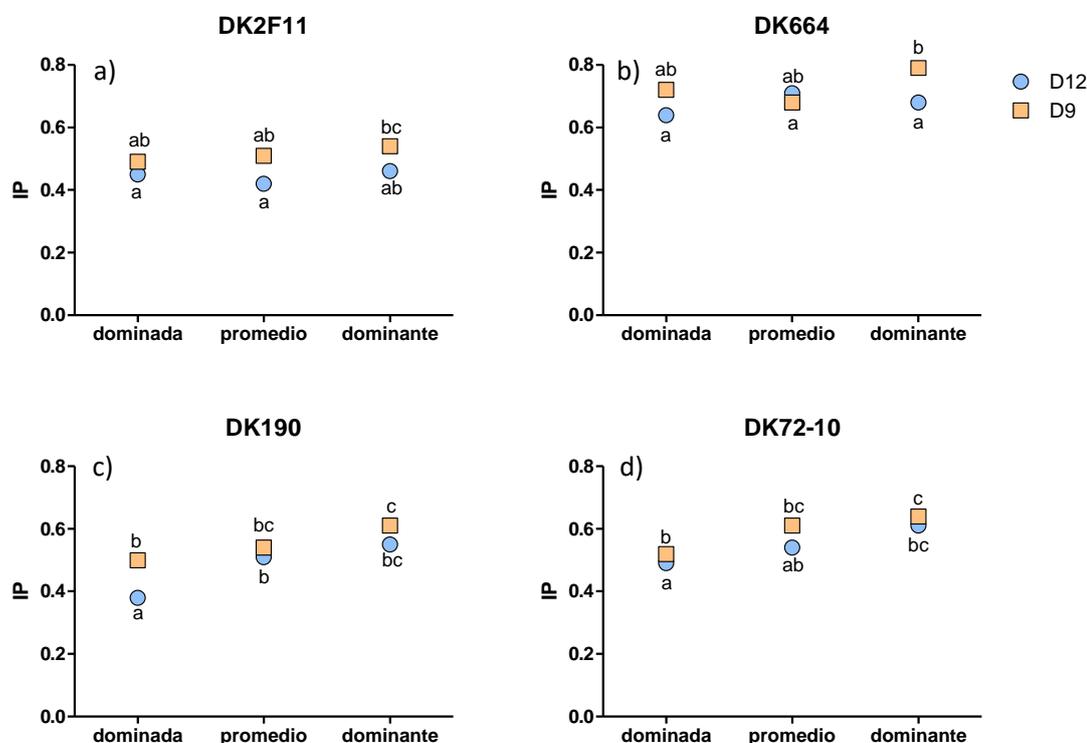
No se registraron otras interacciones significativas para las variables analizadas.

**Cuadro 3.** Valores medios y efectos principales sobre la tasa de crecimiento de la planta (TCP), tasa de crecimiento de la espiga (TCE) e índice de partición (IP) durante el período crítico.

| Efectos principales            |                      | TCP                                |              | TCE                                |              | IP          |              |    |
|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|-------------|--------------|----|
|                                |                      | g pl <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> |              | g pl <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> |              |             |              |    |
| <b>Nitrógeno (N)</b>           | N0*                  | 1,58                               | a            | 0,82                               | a            | 0,49        | a            |    |
|                                | N200                 | 1,97                               | b            | 1,3                                | b            | 0,65        | b            |    |
|                                | <i>Significancia</i> | <b>0,05</b>                        |              | <b>0,05</b>                        |              | <b>0,05</b> |              |    |
| <b>Densidad × Híbrido (DH)</b> | DK2F11               | D9**                               | 1,9          | c                                  | 1            | cd          | 0,52         | bc |
|                                |                      | D12                                | 0,99         | a                                  | 0,48         | a           | 0,45         | a  |
|                                | DK664                | D9                                 | 2,26         | d                                  | 1,69         | g           | 0,73         | e  |
|                                |                      | D12                                | 1,52         | b                                  | 1,05         | de          | 0,68         | e  |
|                                | DK190                | D9                                 | 2,25         | c<br>d                             | 1,26         | e           | 0,55         | cd |
|                                |                      | D12                                | 1,44         | b                                  | 0,72         | b           | 0,48         | ab |
|                                | DK7210               | D9                                 | 2,37         | d                                  | 1,44         | f           | 0,6          | d  |
|                                |                      | D12                                | 1,46         | b                                  | 0,82         | bc          | 0,55         | cd |
|                                | <i>Significancia</i> |                                    | <b>0,001</b> |                                    | <b>0,001</b> |             | <b>0,001</b> |    |
| <b>Jerarquía (J)</b>           | Dominadas            |                                    | 1,41         | a                                  | 0,8          | a           | 0,54         | a  |
|                                | Promedio             |                                    | 1,81         | b                                  | 1,6          | b           | 0,57         | b  |
|                                | Dominantes           |                                    | 2,09         | c                                  | 1,31         | c           | 0,61         | c  |
|                                | <i>Significancia</i> |                                    | <b>0,001</b> |                                    | <b>0,001</b> |             | <b>0,001</b> |    |

\*Corresponde a los tratamientos de disponibilidad de Nitrógeno; N0, testigo sin fertilización; N200, fertilizado con 200 Kg N ha<sup>-1</sup> en V6. \*\*Corresponde a los tratamientos de densidad; D9, 9 plantas m<sup>-2</sup>; D12, 12 plantas m<sup>-2</sup>. Letras distintas indican diferencias significativas.

**Figura 7:** Índice de partición a la espiga durante el período crítico para las jerarquías de plantas correspondientes a cuatro híbridos de diferente época de liberación sembrados en dos densidades de plantas (9 y 12 plantas m<sup>-2</sup>).



\*D9 y D12 corresponden a las densidades de plantas (9 y 12 plantas m<sup>-2</sup>). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre jerarquías dentro de un genotipo.

#### 6.4. Variabilidad poblacional del crecimiento y partición

Se registró un efecto DH para el CV de la tasa de crecimiento de la espiga en el período crítico (CVTCE) y de la tasa de crecimiento de la planta (CVTCP). Así, el híbrido DK2F11 en alta densidad exhibió el mayor CVTCE ( $p < 0,05$ ) y CVTCP ( $p < 0,06$ ). Además fue el único que difirió entre densidades ( $D12 > D9$ ). Por otra parte, el CVTCE del híbrido DK190 en ambas densidades fue uno de los híbridos con mayores valores ( $\approx 46\%$ ) respecto al resto de las combinaciones DH.

El CV del índice de partición (CVIP) presentó una tendencia similar al CVTCE ( $p < 0,01$ ), para el cual el híbrido DK2F11 fue el único que difirió entre densidades

(D12>D9) y el DK190, aunque no difirió entre densidades fue uno de los de mayores valores de CVIP (Promedio D9-D12: 27,25%).

**Cuadro 4.** Valores medios y significancias de coeficientes de variación.

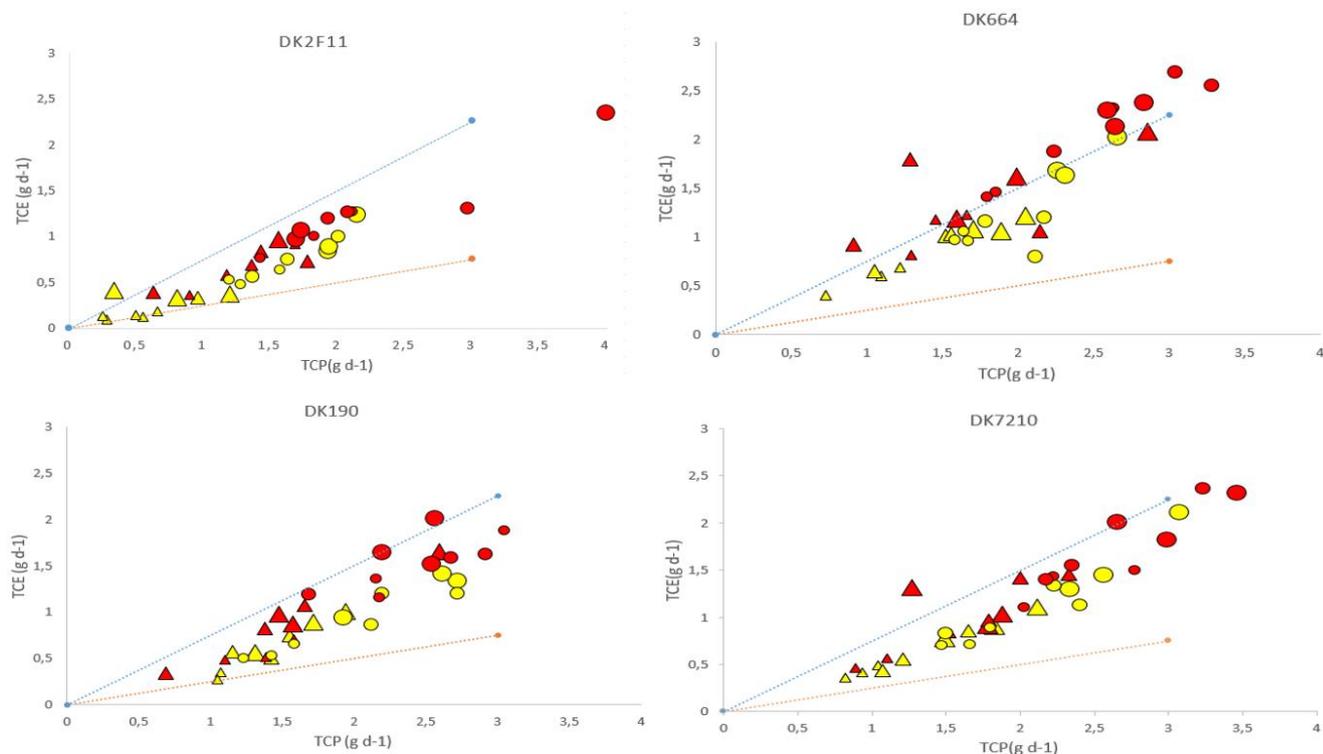
| <b>Hibrido x Densidad</b> |        | <b>Media</b> |       |    |
|---------------------------|--------|--------------|-------|----|
| <b>CVTCE*</b>             | DK2F11 | D9           | 43,44 | a  |
|                           |        | D12          | 59,86 | b  |
|                           | DK664  | D9           | 34,82 | a  |
|                           |        | D12          | 42,45 | a  |
|                           | DK190  | D9           | 47,24 | ab |
|                           |        | D12          | 44,94 | ab |
|                           | DK7210 | D9           | 36,12 | a  |
|                           |        | D12          | 37,88 | a  |
| <b>Significancia</b>      |        | <b>0,05</b>  |       |    |
| <b>CV TCP **</b>          | DK2F11 | D9           | 33,55 | a  |
|                           |        | D12          | 49,63 | b  |
|                           | DK664  | D9           | 29,16 | a  |
|                           |        | D12          | 37,02 | ab |
|                           | DK190  | D9           | 35,53 | ab |
|                           |        | D12          | 28,37 | a  |
|                           | DK7210 | D9           | 27,33 | a  |
|                           |        | D12          | 32,26 | a  |
| <b>Significancia</b>      |        | <b>0,06</b>  |       |    |
| <b>CV IP ***</b>          | DK2F11 | D9           | 16,28 | ab |
|                           |        | D12          | 45,59 | c  |
|                           | DK664  | D9           | 25,83 | ab |
|                           |        | D12          | 11,4  | a  |
|                           | DK190  | D9           | 24,53 | bc |
|                           |        | D12          | 29,97 | bc |
|                           | DK7210 | D9           | 15,96 | ab |
|                           |        | D12          | 18,37 | ab |
| <b>Significancia</b>      |        | <b>0,01</b>  |       |    |

Letras distintas significan diferencias significativas entre las variables. \*Coeficiente de variación de la tasa de crecimiento de la espiga. \*\*Coeficiente de variación de la tasa de crecimiento de la planta. \*\*\* Coeficiente de variación del Índice de Partición expresado en logaritmo.

## **6.5 Tasa de crecimiento de la espiga en función de la tasa de crecimiento de la planta**

Las relaciones entre ambas variables muestran los cambios en el índice de partición (IP) ante cambios en la TCP durante el período crítico (Figura 4). En general, para los cuatro híbridos el tratamiento fertilizado tuvo mayor partición que el tratamiento sin fertilizar para todo el rango de TCP (i.e. los puntos rojos se encontraron por encima de los puntos amarillos). A su vez, a medida que disminuyó la TCP, el IP disminuyó también (i.e. los puntos se acercan a la línea 1:0,25), principalmente en los híbridos DK2F11 y DK190. A elevadas TCP, el IP es mayor y eso se evidencia por la cercanía de los símbolos a la línea punteada 1:0,75. Adicionalmente, las plantas dominadas se ubicaron más cerca de la línea de menor IP. La variación vertical de los datos representa la variabilidad del IP, para la cual los híbridos DK664 y DK190 exhibieron mayor variabilidad del IP para el rango de variación de la TCP.

**Figura 4:** Tasa de crecimiento de la espiga (TCE) en función de la tasa de crecimiento de la planta (TCP) durante el período crítico para cuatro híbridos de diferente época de liberación.



Símbolos: círculos D9 y triángulos D12; rojo N200 y amarillo N0; tamaño grande (plantas dominantes), mediano (plantas promedio) y pequeño (plantas dominadas). Las líneas corresponden a las relaciones de partición 1:0,25 (roja) y 1:0,75 (celeste)

## 7. Discusión

El presente trabajo se ha enfocado en el estudio de la variabilidad poblacional de la partición de biomasa hacia la espiga durante el período crítico en híbridos de maíz de diferentes eras de liberación/utilización en condiciones contrastantes de densidad de plantas y disponibilidad de nitrógeno. La caracterización de los tratamientos en el estado de V6, mediante el volumen de las plantas y el coeficiente de variación, permitió estudiar la respuesta de las jerarquías de plantas y la variabilidad poblacional a los tratamientos de disponibilidad de nitrógeno en las diferentes combinaciones de híbridos y densidades de plantas.

Tal como se esperaba, la alta densidad disminuyó la biomasa por planta en el estado de V6 (analizada a través de su volumen) e incrementó la variabilidad. Plantas sujetas a una mayor competencia, como en alta densidad, tuvieron menor captura

de recursos, que se evidenció en su menor producción de biomasa. El aumento de la competencia entre plantas también promovió la aparición de jerarquías extremas de plantas (Maddonni y Otegui 2004) y el aumento del coeficiente de variación del volumen de las plantas, aunque en esta respuesta existió variabilidad genotípica. Así, se destacaron los híbridos DK664 y DK190 como los más sensibles a la competencia intraespecífica temprana (i.e. presentaron los mayores CVs del volumen y diferencias entre las tres jerarquías de plantas; dominadas < promedio < dominantes). Por otra parte, el híbrido antiguo DK2F11 presentó diferencias entre las tres jerarquías, pero en menor magnitud, puesto que la variabilidad de la población (CV Vol= 21,5%) fue menor a DK664 y DK190 (CV Vol = 28%). A diferencia del resto de los híbridos, el híbrido más moderno DK7210 resultó el menos sensible a la presencia de plantas vecinas, pues exhibió una menor diferencia en el volumen entre las jerarquías extremas (dominadas  $\leq$  promedio  $\leq$  dominantes) y los menores valores de CV en ambas densidades (CV Vol= 22%). Los resultados concuerdan con antecedentes previos (Maddonni y Otegui 2004; Pagano y Maddonni 2007) donde se caracterizó la variabilidad poblacional temprana del crecimiento de las plantas y evidenciaron una menor jerarquización en un híbrido tolerante al estrés, sucedáneo al genotipo más moderno en este trabajo. El comportamiento del híbrido más moderno, en contraposición al resto, es consistente con el concepto de “competidor débil” (Donald, 1981) como un ideotipo para monoculturas, el cual asocia altos rendimientos con una menor habilidad competitiva de las plantas. La menor jerarquización temprana está asociada a una menor respuesta fotomorfogénica por parte de las plantas, es decir una “planta comunal”. Esta característica promueve mayores rendimientos a nivel de cultivo, pues prevalece la performance de la comunidad por sobre la del individuo.

La variabilidad poblacional inicial del crecimiento de las plantas se vio reflejada en la etapa más avanzada del ciclo del cultivo, es decir en el período crítico, aunque existieron diferencias genotípicas en las respuestas. El genotipo más moderno DK7210, menos sensible a la presencia de plantas vecinas en etapas tempranas, evidenció los menores valores de variabilidad en la TCP, TCE e IP (i.e. la baja variabilidad inicial se sostuvo hasta el período crítico). Contrariamente, la elevada variabilidad poblacional inicial del DK190 se reflejó en el crecimiento y

partición en la etapa más avanzada. La respuesta fue evidente por los altos valores de CV de la TCP, TCE e IP y las diferencias entre el IP de las jerarquías de plantas, independientemente de la densidad. Lo cual corrobora la primera parte de la hipótesis “La variabilidad poblacional temprana de la biomasa por planta (V6) condiciona la partición de biomasa a espiga durante el periodo crítico...”. Contrariamente a lo planteado en esta hipótesis, esta respuesta no se evidenció en el híbrido más antiguo. En el híbrido antiguo DK2F11, aunque las jerarquías difirieron en el tamaño temprano, el nivel de jerarquización fue menor (menor CV Vol) al DK190. Sin embargo, en el período crítico fue el genotipo que exhibió los mayores valores de variabilidad (CVs) de la TCP, de la TCE, y del IP, aunque en mayor magnitud en la alta densidad. Incrementos en la variabilidad del crecimiento y la partición en el periodo crítico en alta densidad del híbrido antiguo DK2F11 concuerda con el comportamiento de la intolerancia al estrés por alta densidad de genotipos caracterizados por Pagano y Maddonni (2007). Sin embargo, esa variabilidad habría sido establecida en una etapa que se extendería más allá de V7 definida por Maddonni y Otegui (2004). Este híbrido antiguo resultó ser el genotipo más variable en su crecimiento durante el período crítico, a pesar de la menor jerarquización temprana respecto al DK190.

La segunda hipótesis planteada del presente trabajo propuso que “La variabilidad poblacional en la partición a la espiga se reduce por una mejora en el ambiente (fertilización nitrogenada) en mayor medida en los genotipos más modernos que en los antiguos”. Se encontró la respuesta esperada en cuanto al efecto de la disponibilidad de N sobre el crecimiento y la partición (Boomsma *et al.* 2009). Sin embargo, la fertilización no modificó la variabilidad de los rasgos analizados en ninguno de los genotipos, contrariamente a lo hallado por Rossini *et al.* (2011, 2018) en un híbrido caracterizado como tolerante al estrés o por Caviglia y Melchiori (2011) en un conjunto de híbridos, fechas de siembra y condiciones experimentales. La ausencia de respuesta de la variabilidad a la fertilización puede deberse a dos cuestiones: (i) simetría en la absorción de N, i.e. la captura de N por unidad de longitud de raíz no difiere entre las mencionadas jerarquías de plantas (Casper y Jackson 1997). Así, ante el aumento de la disponibilidad N, todas las jerarquías de plantas aumentan su tamaño de manera similar y por lo tanto las

diferencias entre ellas continúan aún en ambientes de mayor disponibilidad de recursos (el coeficiente de variación no cambia); y/o (ii) no se ha logrado explorar el ambiente potencial, puesto que la disponibilidad hídrica pudo haber sido insuficiente para la etapa del período crítico (durante el cual se registró una severa deficiencia de precipitaciones). Esto puede observarse en los valores registrados para la TCP y TCE en N200 (condiciones potenciales) de nuestro experimento ( $\approx 1,97$  y  $1,3 \text{ g día}^{-1}$ , respectivamente), las cuales resultaron menores que los observados por Rossini *et al.* (2011) ( $3,6$  y  $1,3 \text{ g día}^{-1}$ , respectivamente). Si bien se detectaron diferencias entre niveles de N para los rasgos del crecimiento, las diferencias fueron significativamente menores a las registradas por Rossini *et al.* (2011). Esto es consistente con los resultados de Caviglia y Melchiori (2011), los cuales registraron una menor respuesta de las jerarquías de plantas cuando el nivel de respuesta del cultivo a la fertilización fue bajo. Por lo tanto, en las condiciones exploradas en el año experimental de nuestro trabajo, la hipótesis fue rechazada. Será necesario extender este estudio a otras situaciones de crecimiento (sin restricciones) para contrastar nuevamente la hipótesis.

## **8. Conclusiones**

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la mejora en el ambiente a través de la fertilización sobre la variabilidad poblacional de la partición de biomasa hacia la espiga en híbridos de diferentes épocas de liberación. La menor variabilidad entre plantas tanto para la etapa temprana como la del periodo crítico del híbrido moderno DK7210 respecto a los de mayor antigüedad indicaría que la selección de genotipos con mayor rendimiento traería aparejada una menor habilidad competitiva de las plantas respecto a sus vecinas (Donald 1981). Para corroborar la aseveración se deben testear un conjunto más amplio de genotipos representativos de diferentes décadas con diferentes fondos genéticos.

La falta de respuesta en la reducción de la variabilidad poblacional de la partición a la espiga por efecto de la fertilización estaría asociada a un bajo nivel de crecimiento en los tratamientos fertilizados. Lo cual evidencia que los rasgos asociados a un mejor comportamiento de los genotipos se expresan en ambientes

potenciales. Será necesario explorar la performance de materiales, en diferentes niveles de respuesta a la disponibilidad de N. La capacidad de reducción de la variabilidad poblacional de la espiga por la fertilización, aún en ambientes por debajo del potencial, sería un rasgo promisorio en la selección de genotipos destinados a este tipo de ambientes.

## **9. Bibliografía**

- Andrade, FH; Cirilo, AG; Uhart, SA; Otegui, ME. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz .Dekalb Press.
- Andrade, FH; Echarte, L; Rizzalli, R; Della Maggiora, A and Casanovas, M. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.*42:1173-1179.
- Andrade, FH; Vega, C; Uhart, S; Cirilo, A; Cantarero and Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.*39:453-459.
- Anexo. 38-47.
- Boomsma, CR; Santini, JB; Tollenaar, M; Vyn, TJ. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. *Agron. J.* 101: 1426–1452.
- Casper, BB; Jackson, RB. 1997. Plant competition underground. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28: 545-570.
- Cassman, KG; Dobermann, A; Walters, DT; Yang, H. 2003. Satisfacer la demanda de cereales al tiempo que se protegen los recursos naturales y se mejora la calidad ambiental. *Revisión anual de medio ambiente y recursos.* 28 (1).315-358.
- Castleberry, RM; Crum, CW & Krull, CF .1984. Genetic Yield Improvement of US Maize Cultivars under Varying Fertility and Climatic Environments 1. *Crop science,* 24(1): 33-36.
- Caviglia, OP; Melchiori, RJM. 2011. Contribution of contrasting plant hierarchies to the response to N fertilizer in maize. *Field Crops Res.* 122: 131-139.
- Charles-Edwards, DA. 1984. On the ordered development of plants. 1. An hypothesis. *Ann.Bot, London* 53: 699-707.
- D' Andrea, KE; Otegui, ME; Cirilo, GA. 2008. Kernel Number Determination Differs among Maize Hybrids in Response to Nitrogen. *Field Crops Res.* 105: 228-239.
- Daynard, TB; Muldoon, JF. 1983. Plant-to-plant variability of maize plants grown at different densities. *Can. J. Plant Sci.* 63: 45-59.

- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2017. InfoStat versión. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Donald, CM. 1981. Competitive plants, communal plants, and yield in wheat crops, in: Evans, L.T., Peacock, W.J. (Eds.), *Wheat Science ± today and Tomorrow*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 223-247
- Donald, CM; Hamblin, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28: 361-405.
- Duvick, DN. 1997. Genetic rates of gain in hybrid maize yields during the past 40 years. *Maydica* 22: 187–196.
- Eastin, JA. 1970. C-14 labelled photosynthate export from fully expanded corn (*Zea mays* L.) leaf blades. *Crop Sci.* 10: 415-418.
- Echarte, L; Andrade, FH; Vega, CRC; Tollenaar, M. 2004. Kernel Number Determination in Argentinean Maize Hybrids Released between 1965 and 1993. *Crop Sci.* 44: 1654- 1661.
- Echarte, L; Luque, S; Andrade, FH; Sadras, VO; Cirilo, A; Otegui, ME; Vega, CRC. 2000. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1995. *Field Crops Res.* 68: 1–8.
- Edmeades, GO; Daynard, TB. 1979. The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities. *Can. J. Plant Sci.* 59: 561-576.
- FAOSTAT. 2018. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. FAOSTAT. Cultivos. Producción/Rendimiento de Maiz en Mundo + (Total). (online). Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>. (Consultado: 22 de octubre 2020).
- Gear, J. R. 2006. El cultivo del maíz en la Argentina. Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición, 4.
- Gifford, RM; Thorne, JH; Hitz, WD; Giaquinta, RT. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science.* 225: 801-808.
- Hay, RKM. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Ann. Appl. Biol.* 126: 197-216.

- Hernández, F; Amelong, A & Borrás, L. 2014. Genotypic differences among Argentinean maize hybrids in yield response to stand density. *Agronomy Journal*, 106(6): 2316-2324.
- Liu, W; Tollenaar, M; Stewart, G; Deen, W. 2004. Response of Corn Grain Yield to Spatial and Temporal Variability in Emergence. *Crop Sci.* 44:847-854.
- Luque, SF; Cirilo, AG; Otegui, ME. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Res.* 95: 383-397.
- Maddonni, GA y Otegui, ME. 2004. Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. Elsevier. *Field Crops Research.* 85:1-13.
- McCullough, DE; Aguilera, A; Tollenaar, M. 1994a. N uptake N partitioning and photosynthetic N use efficiency of an old and new maize hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 74: 479–484.
- McCullough, DE; Girardin, P; Mihajlovic, M; Aguilera, A; Tollenaar, M. 1994b. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 74: 471–477.
- Otegui, ME y Andrade, FH. 2000. New relationships between light interception, ear growth and kernel set in maize (chapter 6). En: M.E. Westgate, and K. Boote (eds), *Physiology and Modeling of Kernel Set in Maize*, Crop Sci. Soc. of America y Amer. Soc. of Agronomy Special Publication N°29. Baltimore, Maryland, EEUU, 1998. P 89-102.
- Pagano, E; Maddonni, GA; 2007. Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Res.* 101: 306-320.
- Rossini, MA; Maddonni, GA; Otegui, ME. 2011. Inter-plant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth. Elsevier. 121: 373–380.
- Rossini, MA; Otegui, ME; Martinez, EL; Maddonni, GA. 2018. Contribution of the early-established plant hierarchies to maize crop responses to N fertilization. Elsevier. 216:141-149.
- Russell, WA. 1984. Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding. *Maydica* 29: 375–390.

- Satorre, EH; Arnold Benech, RL; Slafer, GA; De la Fuente, EB; Miralles DJ; Otegui ME; Savin, R. Producción de granos: Bases funcionales para su manejo.2003. Facultad de agronomía UBA. Editorial facultad de agronomía Universidad de Buenos Aires. P 146-153.
- Sinclair, TR. 1998. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Sci.* 38: 638-643.
- Tetio-Kagho, F; Gardner, FP. 1988. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. *Agron. J.* 80, 935–940.
- Tollenaar, M; Dwyer, LM; Stewart, DW. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Sci.* 32: 432–438.
- Tollenaar, M; Lee, EA. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75: 161–169.
- Tollenaar, M; Wu, J. 1999. Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. *Crop Sci.* 39: 1597-1604.
- Uhart, SA; Andrade, FH. 1995. Nitrogen deficiency in maize I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35:1376–1383.
- Vega, CRC; Andrade, FH; Sadras, VO; Uhart, SA; Valentinuz, OR.2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower, and maize. *Crop Sci.* 41: 748–754.

## **ANEXO**

**Tabla 1:** ANOVA correspondiente al Volumen de las plantas en V6 y comparación de medias para los efectos significativos.

### **Volumen**

| <b>Variable</b> | <b>N</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>R<sup>2</sup> Aj</b> | <b>CV</b> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| <b>Volumen</b>  | 144      | 0,95                 | 0,89                    | 9,88      |

### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| <b>F.V.</b>       | <b>SC</b> | <b>gl</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p-valor</b> | <b>(Error)</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|----------------|
| <b>Modelo</b>     | 21,03     | 79        | 0,27      | 15,50    | <0,0001        |                |
| <b>R</b>          | 1,64      | 2         | 0,82      | 6,49     | 0,1334         | (R*N)          |
| <b>N</b>          | 0,17      | 1         | 0,17      | 1,33     | 0,3679         | (R*N)          |
| <b>R*N</b>        | 0,25      | 2         | 0,13      | 7,37     | 0,0013         |                |
| <b>GxD</b>        | 4,19      | 7         | 0,60      | 4,74     | 0,0013         | (N>GxD*R)      |
| <b>N*GxD</b>      | 0,75      | 7         | 0,11      | 0,85     | 0,5596         | (N>GxD*R)      |
| <b>N&gt;GxD*R</b> | 3,54      | 28        | 0,13      | 7,35     | <0,0001        |                |
| <b>J</b>          | 9,80      | 2         | 4,90      | 285,29   | <0,0001        |                |
| <b>N*J</b>        | 0,06      | 2         | 0,03      | 1,80     | 0,1729         |                |
| <b>GxD*J</b>      | 0,46      | 14        | 0,03      | 1,93     | 0,0397         |                |
| <b>N*GxD*J</b>    | 0,17      | 14        | 0,01      | 0,72     | 0,7495         |                |
| <b>Error</b>      | 1,10      | 64        | 0,02      |          |                |                |
| <b>Total</b>      | 22,13     | 143       |           |          |                |                |

**Test: Duncan Alfa=0.05**

Error 0,0172 gl 64

| GxD     | J         | Medias | n | E.E. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
|---------|-----------|--------|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|---|
| 7210D12 | DOMINADA  | 0,78   | 6 | 0,05 | A |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 190D12  | DOMINADA  | 0,8    | 6 | 0,05 | A | B |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 664D12  | DOMINADA  | 0,88   | 6 | 0,05 | A | B | C |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 7210D9  | DOMINADA  | 0,91   | 6 | 0,05 | A | B | C |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 2F11D12 | DOMINADA  | 0,95   | 6 | 0,05 |   | B | C | D |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 190D9   | DOMINADA  | 1,02   | 6 | 0,05 |   |   | C | D | E |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 7210D12 | PROMEDIO  | 1,11   | 6 | 0,05 |   |   |   | D | E | F |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 190D12  | PROMEDIO  | 1,12   | 6 | 0,05 |   |   |   |   | E | F |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 2F11D9  | DOMINADA  | 1,16   | 6 | 0,05 |   |   |   |   | E | F | G |   |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 7210D9  | PROMEDIO  | 1,22   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   | F | G | H |   |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 2F11D12 | PROMEDIO  | 1,26   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   | F | G | H | I |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 664D9   | DOMINADA  | 1,3    | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   | G | H | I |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 7210D12 | DOMINANTE | 1,34   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   | H | I |   |   |   |   |  |  |  |   |
| 190D9   | PROMEDIO  | 1,35   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   | H | I | J |   |   |   |  |  |  |   |
| 664D12  | PROMEDIO  | 1,4    | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   | I | J | K |   |   |  |  |  |   |
| 190D12  | DOMINANTE | 1,51   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | J | K | L |   |  |  |  |   |
| 2F11D9  | PROMEDIO  | 1,52   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | K | L |   |  |  |  |   |
| 7210D9  | DOMINANTE | 1,53   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | K | L |   |  |  |  |   |
| 2F11D12 | DOMINANTE | 1,57   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | L |   |  |  |  |   |
| 664D9   | PROMEDIO  | 1,6    | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | L |  |  |  |   |
| 2F11D9  | DOMINANTE | 1,81   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  | M |
| 190D9   | DOMINANTE | 1,84   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  | M |
| 664D12  | DOMINANTE | 1,85   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  | M |
| 664D9   | DOMINANTE | 1,97   | 6 | 0,05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  | M |

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

**Tabla 2:** ANOVA correspondiente a la tasa de crecimiento de las plantas durante el período crítico (TCP) y comparación de medias para los efectos significativos.

**TCP**

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| TCP      | 144 | 0,88           | 0,74              | 19,61 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V.   | SC    | gl | CM   | F    | p-valor | (Error) |
|--------|-------|----|------|------|---------|---------|
| Modelo | 59,79 | 79 | 0,76 | 6,13 | <0,0001 |         |
| R      | 0,37  | 2  | 0,18 | 0,65 | 0,6044  | (R*N)   |

|                   |       |     |      |       |         |           |
|-------------------|-------|-----|------|-------|---------|-----------|
| <b>N</b>          | 5,96  | 1   | 5,96 | 21,10 | 0,0443  | (R*N)     |
| <b>R*N</b>        | 0,56  | 2   | 0,28 | 2,29  | 0,1100  |           |
| <b>GxD</b>        | 30,79 | 7   | 4,40 | 23,76 | <0,0001 | (N>GxD*R) |
| <b>N*GxD</b>      | 0,99  | 7   | 0,14 | 0,76  | 0,6235  | (N>GxD*R) |
| <b>N&gt;GxD*R</b> | 5,18  | 28  | 0,19 | 1,50  | 0,0920  |           |
| <b>J</b>          | 10,81 | 2   | 5,40 | 43,76 | <0,0001 |           |
| <b>N*J</b>        | 0,32  | 2   | 0,16 | 1,31  | 0,2757  |           |
| <b>GxD*J</b>      | 2,15  | 14  | 0,15 | 1,24  | 0,2674  |           |
| <b>N*GxD*J</b>    | 2,65  | 14  | 0,19 | 1,53  | 0,1252  |           |
| <b>Error</b>      | 7,90  | 64  | 0,12 |       |         |           |
| <b>Total</b>      | 67,69 | 143 |      |       |         |           |

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,2823 gl: 2

| <b>N</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E.</b> |   |
|----------|---------------|----------|-------------|---|
| 0        | 1,62          | 72       | 0,06        | A |
| 200      | 2,01          | 72       | 0,06        | B |

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

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,1852 gl: 28

| <b>GxD</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E.</b> |   |     |
|------------|---------------|----------|-------------|---|-----|
| 2F11D12    | 1,02          | 18       | 0,10        | A |     |
| 190D12     | 1,44          | 18       | 0,10        |   | B   |
| 7210D12    | 1,53          | 18       | 0,10        |   | B   |
| 664D12     | 1,58          | 18       | 0,10        |   | B   |
| 2F11D9     | 1,96          | 18       | 0,10        |   | C   |
| 190D9      | 2,25          | 18       | 0,10        |   | C D |
| 664D9      | 2,34          | 18       | 0,10        |   | D   |
| 7210D9     | 2,42          | 18       | 0,10        |   | D   |

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

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,1235 gl: 64

| <b>J</b>         | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E.</b> |   |   |
|------------------|---------------|----------|-------------|---|---|
| <b>DOMINADA</b>  | 1,46          | 48       | 0,05        | A |   |
| <b>PROMEDIO</b>  | 1,81          | 48       | 0,05        |   | B |
| <b>DOMINANTE</b> | 2,09          | 48       | 0,05        |   | C |

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

**Tabla 3:** ANOVA correspondiente a la tasa de crecimiento de las espigas durante el período crítico (TCE) y comparación de medias para los efectos significativos.

**TCE**

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| TCE      | 144 | 0,91           | 0,80              | 23,68 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V.    | SC    | gl  | CM   | F      | p-valor | (Error)   |
|---------|-------|-----|------|--------|---------|-----------|
| Modelo  | 41,55 | 79  | 0,53 | 8,33   | <0,0001 |           |
| R       | 0,40  | 2   | 0,20 | 3,23   | 0,2366  | (R*N)     |
| N       | 8,71  | 1   | 8,71 | 141,47 | 0,0070  | (R*N)     |
| R*N     | 0,12  | 2   | 0,06 | 0,98   | 0,3824  |           |
| GxD     | 20,05 | 7   | 2,86 | 29,05  | <0,0001 | (N>GxD*R) |
| N*GxD   | 1,07  | 7   | 0,15 | 1,55   | 0,1908  | (N>GxD*R) |
| N>GxD*R | 2,76  | 28  | 0,10 | 1,56   | 0,0719  |           |
| J       | 5,98  | 2   | 2,99 | 47,36  | <0,0001 |           |
| N*J     | 0,11  | 2   | 0,06 | 0,88   | 0,4179  |           |
| GxD*J   | 0,99  | 14  | 0,07 | 1,12   | 0,3618  |           |
| N*GxD*J | 1,35  | 14  | 0,10 | 1,53   | 0,1253  |           |
| Error   | 4,04  | 64  | 0,06 |        |         |           |
| Total   | 45,59 | 143 |      |        |         |           |

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0616 gl: 2

| N   | Medias | n  | E.E.   |
|-----|--------|----|--------|
| 0   | 0,84   | 72 | 0,03 A |
| 200 | 1,32   | 72 | 0,03 B |

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

**Test: Duncan  
Alfa=0,05**

Error: 0,0986 gl: 28

| GxD     | Medias | n  | E.E. |   |   |   |   |   |
|---------|--------|----|------|---|---|---|---|---|
| 2F11D12 | 0,48   | 18 | 0,08 | A |   |   |   |   |
| 190D12  | 0,72   | 18 | 0,07 |   | B |   |   |   |
| 7210D12 | 0,86   | 18 | 0,08 |   | B | C |   |   |
| 2F11D9  | 1,02   | 18 | 0,08 |   |   | C | D |   |
| 664D12  | 1,09   | 18 | 0,08 |   |   |   | D | E |
| 190D9   | 1,26   | 18 | 0,07 |   |   |   |   | E |
| 7210D9  | 1,48   | 18 | 0,08 |   |   |   |   | F |
| 664D9   | 1,74   | 18 | 0,08 |   |   |   |   | G |

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

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0631 gl: 64

| J         | Medias | n  | E.E. |   |   |
|-----------|--------|----|------|---|---|
| DOMINADA  | 0,79   | 48 | 0,04 | A |   |
| PROMEDIO  | 1,06   | 48 | 0,04 |   | B |
| DOMINANTE | 1,31   | 48 | 0,04 |   | C |

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

**Tabla 4:** ANOVA correspondiente al índice de partición a las espigas durante el período crítico (IP) y comparación de medias para los efectos significativos.

IP

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| IP       | 144 | 0,90           | 0,78              | 11,88 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V.   | SC   | gl | CM   | F     | p-valor | (Error)   |
|--------|------|----|------|-------|---------|-----------|
| Modelo | 2,67 | 79 | 0,03 | 7,46  | <0,0001 |           |
| R      | 0,07 | 2  | 0,04 | 4,08  | 0,1968  | (R*N)     |
| N      | 0,83 | 1  | 0,83 | 94,81 | 0,0104  | (R*N)     |
| R*N    | 0,02 | 2  | 0,01 | 1,94  | 0,1526  |           |
| GxD    | 1,19 | 7  | 0,17 | 20,60 | <0,0001 | (N>GxD*R) |
| N*GxD  | 0,04 | 7  | 0,01 | 0,73  | 0,6501  | (N>GxD*R) |

|                   |      |     |                      |       |         |
|-------------------|------|-----|----------------------|-------|---------|
| <b>N&gt;GxD*R</b> | 0,23 | 28  | 0,01                 | 1,82  | 0,0246  |
| <b>J</b>          | 0,12 | 2   | 0,06                 | 13,31 | <0,0001 |
| <b>N*J</b>        | 0,01 | 2   | 2,5 E <sup>-03</sup> | 0,55  | 0,5778  |
| <b>GxD*J</b>      | 0,12 | 14  | 0,01                 | 1,86  | 0,0487  |
| <b>N*GxD*J</b>    | 0,04 | 14  | 3,1 E <sup>-03</sup> | 0,68  | 0,7872  |
| <b>Error</b>      | 0,29 | 64  | 4,5 E <sup>-03</sup> |       |         |
| <b>Total</b>      | 2,96 | 143 |                      |       |         |

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0088 gl: 2

| <b>N</b> | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E.</b> |   |
|----------|---------------|----------|-------------|---|
| 0        | 0,49          | 72       | 0,01        | A |
| 200      | 0,64          | 72       | 0,01        | B |

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

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0045 gl: 64

| <b>GxD</b> | <b>J</b>  | <b>Medias</b> | <b>n</b> | <b>E.E.</b> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------|-----------|---------------|----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 190D12     | DOMINADA  | 0,38          | 6        | 0,03        | A |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2F11D12    | PROMEDIO  | 0,42          | 6        | 0,03        | A | B |   |   |   |   |   |   |   |
| 2F11D12    | DOMINADA  | 0,45          | 6        | 0,03        | A | B | C |   |   |   |   |   |   |
| 2F11D12    | DOMINANTE | 0,46          | 6        | 0,03        |   | B | C | D |   |   |   |   |   |
| 7210D12    | DOMINADA  | 0,49          | 6        | 0,03        |   | B | C | D |   |   |   |   |   |
| 2F11D9     | DOMINADA  | 0,49          | 6        | 0,03        |   | B | C | D |   |   |   |   |   |
| 190D9      | DOMINADA  | 0,50          | 6        | 0,03        |   | B | C | D |   |   |   |   |   |
| 2F11D9     | PROMEDIO  | 0,51          | 6        | 0,03        |   | B | C | D |   |   |   |   |   |
| 190D12     | PROMEDIO  | 0,51          | 6        | 0,03        |   | B | C | D |   |   |   |   |   |
| 7210D9     | DOMINADA  | 0,52          | 6        | 0,03        |   |   | C | D | E |   |   |   |   |
| 2F11D9     | DOMINANTE | 0,54          | 6        | 0,03        |   |   |   | D | E |   |   |   |   |
| 190D9      | PROMEDIO  | 0,54          | 6        | 0,03        |   |   |   | D | E |   |   |   |   |
| 7210D12    | PROMEDIO  | 0,54          | 6        | 0,03        |   |   |   | D | E |   |   |   |   |
| 190D12     | DOMINANTE | 0,55          | 6        | 0,03        |   |   |   | D | E | F |   |   |   |
| 190D9      | DOMINANTE | 0,61          | 6        | 0,03        |   |   |   |   | E | F | G |   |   |
| 7210D12    | DOMINANTE | 0,61          | 6        | 0,03        |   |   |   |   | E | F | G |   |   |
| 7210D9     | PROMEDIO  | 0,61          | 6        | 0,03        |   |   |   |   | E | F | G |   |   |
| 664D12     | DOMINADA  | 0,64          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   | F | G | H |   |
| 7210D9     | DOMINANTE | 0,64          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   | F | G | H |   |
| 664D9      | PROMEDIO  | 0,68          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   |   | G | H |   |
| 664D12     | DOMINANTE | 0,68          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   |   | G | H |   |
| 664D12     | PROMEDIO  | 0,71          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   |   |   | H | I |
| 664D9      | DOMINADA  | 0,72          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   |   |   | H | I |
| 664D9      | DOMINANTE | 0,79          | 6        | 0,03        |   |   |   |   |   |   |   |   | I |

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

**Tabla 5:** ANOVA correspondiente al coeficiente de variación del volumen de las plantas en V6 (CVVol) y comparación de medias para los efectos significativos.

**CVVol**

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| CVVol    | 48 | 0,54           | 0,23              | 22,83 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.         | SC      | gl | CM     | F    | p-valor | (Error)        |
|--------------|---------|----|--------|------|---------|----------------|
| Modelo       | 1093,01 | 19 | 57,53  | 1,76 | 0,0851  |                |
| REPETICION   | 4,50    | 2  | 2,25   | 0,03 | 0,9693  | (REPETICION*N) |
| N            | 5,57    | 1  | 5,57   | 0,08 | 0,8059  | (REPETICION*N) |
| REPETICION*N | 142,22  | 2  | 71,11  | 2,17 | 0,1325  |                |
| HD           | 827,46  | 7  | 118,21 | 3,62 | 0,0067  |                |
| N*HD         | 113,27  | 7  | 16,18  | 0,49 | 0,8302  |                |
| Error        | 915,58  | 28 | 32,70  |      |         |                |
| Total        | 2008,59 | 47 |        |      |         |                |

**Test: Duncan**

**Alfa=0,05**

Error: 32,6992 gl: 28

| HD       | Medias | n | E.E. |   |   |   |
|----------|--------|---|------|---|---|---|
| 2F11 D9  | 20,25  | 6 | 2,33 | A |   |   |
| 7210 D12 | 21,18  | 6 | 2,33 | A |   |   |
| 664 D9   | 22,37  | 6 | 2,33 | A | B |   |
| 2F11 D12 | 22,88  | 6 | 2,33 | A | B |   |
| 7210 D9  | 23,15  | 6 | 2,33 | A | B |   |
| 190 D12  | 29,18  | 6 | 2,33 |   | B | C |
| 190 D9   | 29,38  | 6 | 2,33 |   | B | C |
| 664 D12  | 32,03  | 6 | 2,33 |   |   | C |

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

**Tabla 6:** ANOVA correspondiente al coeficiente de variación de la tasa de crecimiento de la espiga durante el periodo crítico (CVTCE) y comparación de medias para los efectos significativos.

## CVTCE

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| CVTCE    | 48 | 0,58           | 0,29              | 28,75 |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.         | SC       | gl | CM     | F    | p-valor | (Error)        |
|--------------|----------|----|--------|------|---------|----------------|
| Modelo       | 5943,14  | 19 | 312,80 | 2,01 | 0,0449  |                |
| REPETICION   | 80,59    | 2  | 40,30  | 0,17 | 0,8547  | (REPETICION*N) |
| N            | 882,53   | 1  | 882,53 | 3,72 | 0,1935  | (REPETICION*N) |
| REPETICION*N | 474,17   | 2  | 237,09 | 1,53 | 0,2347  |                |
| HD           | 2675,06  | 7  | 382,15 | 2,46 | 0,0422  |                |
| N*HD         | 1830,78  | 7  | 261,54 | 1,68 | 0,1535  |                |
| Error        | 4346,77  | 28 | 155,24 |      |         |                |
| Total        | 10289,91 | 47 |        |      |         |                |

### Test :Duncan Alfa=0,05

Error: 155,2418 gl: 28

| HD       | Medias | n | E.E. |   |   |
|----------|--------|---|------|---|---|
| 664 D9   | 34,82  | 6 | 5,09 | A |   |
| 7210 D9  | 36,12  | 6 | 5,09 | A |   |
| 7210 D12 | 37,88  | 6 | 5,09 | A |   |
| 664 D12  | 42,45  | 6 | 5,09 | A |   |
| 2F11 D9  | 43,44  | 6 | 5,09 | A |   |
| 190 D12  | 44,94  | 6 | 5,09 | A | B |
| 190 D9   | 47,24  | 6 | 5,09 | A | B |
| 2F11 D12 | 59,86  | 6 | 5,09 |   | B |

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

**Tabla 7:** ANOVA correspondiente al coeficiente de variación de la tasa de crecimiento de las plantas durante el periodo crítico en valores transformados mediante la raíz cuadrada (CVTCPraiz) y comparación de medias para los efectos significativos.

## CVTCPraiz

| Variable  | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------|----|----------------|-------------------|-------|
| CVTCPraiz | 48 | 0,51           | 0,17              | 16,20 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.         | SC                   | gl | CM                   | F    | p-valor | (Error)        |
|--------------|----------------------|----|----------------------|------|---------|----------------|
| Modelo       | 0,25                 | 19 | 0,01                 | 1,52 | 0,1551  |                |
| REPETICION   | 0,01                 | 2  | 3,9 E <sup>-03</sup> | 0,23 | 0,8150  | (REPETICION*N) |
| N            | 4,5 E <sup>-03</sup> | 1  | 4,5 E <sup>-03</sup> | 0,26 | 0,6583  | (REPETICION*N) |
| REPETICION*N | 0,03                 | 2  | 0,02                 | 1,95 | 0,1606  |                |
| HD           | 0,13                 | 7  | 0,02                 | 2,18 | 0,0672  |                |
| N*HD         | 0,07                 | 7  | 0,01                 | 1,17 | 0,3491  |                |
| Error        | 0,24                 | 28 | 0,01                 |      |         |                |
| Total        | 0,49                 | 47 |                      |      |         |                |

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0087 gl: 28

| HD       | Medias | n | E.E. |   |   |
|----------|--------|---|------|---|---|
| 7210 D9  | 0,52   | 6 | 0,04 | A |   |
| 190 D12  | 0,53   | 6 | 0,04 | A |   |
| 664 D9   | 0,54   | 6 | 0,04 | A |   |
| 7210 D12 | 0,56   | 6 | 0,04 | A |   |
| 2F11 D9  | 0,57   | 6 | 0,04 | A |   |
| 190 D9   | 0,59   | 6 | 0,04 | A | B |
| 664 D12  | 0,60   | 6 | 0,04 | A | B |
| 2F11 D12 | 0,69   | 6 | 0,04 |   | B |

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

**Tabla 8:** ANOVA correspondiente al coeficiente de variación del índice de partición a la espiga durante el periodo crítico en valores transformados mediante logaritmo (CVIPIlog) y comparación de medias para los efectos significativos.

**CVIPIlog**

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| CVIPIlog | 48 | 0,56           | 0,26              | 17,29 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.         | SC   | gl | CM   | F    | p-valor | (Error)        |
|--------------|------|----|------|------|---------|----------------|
| Modelo       | 1,77 | 19 | 0,09 | 1,88 | 0,0632  |                |
| REPETICION   | 0,04 | 2  | 0,02 | 0,76 | 0,5670  | (REPETICION*N) |
| N            | 0,10 | 1  | 0,10 | 3,86 | 0,1883  | (REPETICION*N) |
| REPETICION*N | 0,05 | 2  | 0,03 | 0,51 | 0,6081  |                |
| HD           | 1,30 | 7  | 0,19 | 3,74 | 0,0055  |                |
| N*HD         | 0,29 | 7  | 0,04 | 0,82 | 0,5780  |                |
| Error        | 1,39 | 28 | 0,05 |      |         |                |
| Total        | 3,16 | 47 |      |      |         |                |

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0496 gl: 28

| HD       | Medias | n | E.E. |   |   |   |
|----------|--------|---|------|---|---|---|
| 664 D12  | 1,04   | 6 | 0,09 | A |   |   |
| 7210 D9  | 1,19   | 6 | 0,09 | A | B |   |
| 7210 D12 | 1,19   | 6 | 0,09 | A | B |   |
| 2F11 D9  | 1,20   | 6 | 0,09 | A | B |   |
| 664 D9   | 1,29   | 6 | 0,09 | A | B |   |
| 190 D9   | 1,35   | 6 | 0,09 |   | B | C |
| 190 D12  | 1,45   | 6 | 0,09 |   | B | C |
| 2F11 D12 | 1,60   | 6 | 0,09 |   |   | C |

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