

**COMPONENTES NUMÉRICOS DEL DESARROLLO MORFOGÉNICO DE LA
ESPIGA EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE ESTRÉS EN TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea
mays L.*) DE DIFERENTES ÉPOCAS DE LIBERACIÓN**

Trabajo Final de Grado
del alumno

CORBANINI LUCIO

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

Ingeniero Agrónomo

Carrera

UNNOBA
Ingeniería Agronómica

*Reforma Universitaria
15 Junio 1918*

NOROESTE BUENOS AIRES

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales
Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires**

Junín, 14/06/2019

**COMPONENTES NUMÉRICOS DEL DESARROLLO MORFOGÉNICO DE LA
ESPIGA EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE ESTRÉS EN TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea
mays L.*) DE DIFERENTES ÉPOCAS DE LIBERACIÓN.**

Trabajo Final de Grado

del alumno

LUCIO CORBANINI

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Ing. Agr. (M.Sc.) Marcelo
Ferrer
Evaluador

Ing. Agr. (M.Sc.) Erika
Mroginsky
Evaluador

Ing. Agr. Dra. Fernanda
Gonzalez
Evaluador

Ing. Agr. Dra. María de los
Angeles Rossini
Director

Junín, 14/06/2019

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Agradecimientos

Deseo agradecer a todos los que formaron parte directa e indirectamente en el trabajo de mi tesis.

En primer lugar a mis padres, Leonardo y Rosana, a mis hermanos, Bruno y Valentina, mis tíos y mis abuelos por acompañarme durante todos estos años.

A la doctora María de los Ángeles Rossini por guiarme durante toda la tesis destacando el compromiso, la dedicación y enseñanzas brindadas.

A mis compañeros de ensayo, Balestrasse Rodrigo, Baretta Rodrigo, Baretta Esteban y a Curin Facundo por su compromiso y todo el aporte brindado.

A mis amigos, en especial al Ing. Agr. Lerda Franco, por su ayuda constante.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por brindarme sus instalaciones.

ÍNDICE

Resumen.....	5
1. Introducción.....	7
1.1. Componentes numéricos del desarrollo morfogénico de la espiga	8
1.2. Mejoramiento genético en el cultivo de maíz	9
2. Hipótesis	12
3. Objetivo general	12
3.1. Objetivos específicos	12
4. Palabras clave.....	12
5. Materiales y métodos	13
6. Resultados	15
6.1. Condiciones de crecimiento del cultivo	15
6.2. Biomasa por planta en floración femenina, desarrollo morfogénico de la espiga y fijación de granos	18
6.3. Respuesta de los componentes de desarrollo morfogénico de la espiga y fijación de granos al índice de estrés	20
7. Discusión.....	23
8. Conclusiones.....	25
9. Bibliografía	26
ANEXO.....	30

Resumen

El incremento en la producción mundial de maíz dependió del lanzamiento de híbridos de mayor potencial de rendimiento y mayor estabilidad frente a estreses abióticos principalmente hídricos y nutricionales. Dentro de los subcomponentes del rendimiento se encuentra el número de granos por unidad de superficie como el principal. Este depende de la densidad y la cantidad de granos fijados por planta. Este último responde a las condiciones de crecimiento alrededor de la floración y de aspectos relacionados al desarrollo de flores (i.e. número potencial de granos). Se desconoce si la mejora en el rendimiento de maíz tuvo aparejado mejoras en rasgos relacionados al desarrollo morfogénico de la espiga (flores totales, flores completas y estigmas emergidos). El objetivo de la presente tesis fue cuantificar el efecto de combinaciones de densidad y niveles de Nitrógeno (N) (fertilizado y sin fertilizar) en dos ambientes de diferente disponibilidad hídrica (riego y secano) sobre la biomasa por planta al momento de la floración femenina (indicador del crecimiento) y su impacto sobre el desarrollo morfogénico de la espiga (flores totales, flores completas y estigmas emergidos) y la fijación de granos de tres híbridos de maíz de diferentes épocas de liberación en la zona Norte de la provincia de Buenos Aires. Se realizó un ensayo a campo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA localizada en Pergamino. Se sembraron tres híbridos de maíz de diferente época de liberación: Los tres híbridos del semillero Dekalb, DK664 (1993), DK190 (2007) y DK72-10 (2012), que fueron ampliamente difundidos en la región. Los mismos fueron sembrados en combinaciones de niveles de N (sin fertilizar y fertilizando con 200 kg N ha⁻¹) y densidades (6, 9 y 12 plantas m⁻²). Este ensayo se condujo en condiciones de riego durante todo el ciclo y en secano. La utilización del índice de estrés (biomasa por planta en floración del tratamiento "x" / biomasa por planta de referencia sin estrés) permitió unificar criterios, comparando la sensibilidad de los componentes del desarrollo morfogénico de la espiga ante una intensidad de estrés equivalente independientemente del factor que lo genere. Los distintos componentes del desarrollo morfogénico de la espiga y el número de granos resultaron sensibles al aumento del estrés generado por las combinaciones de densidad y disponibilidad de N, aunque la fijación de granos resultó mayormente sensible respecto al resto de los rasgos. Debido a las condiciones climáticas exploradas por el cultivo durante la campaña en la

cual se desarrolló el experimento, no fue posible generar la situación de deficiencia hídrica, por lo que no pudo evaluarse el efecto del estrés hídrico. Sin embargo, el déficit por N generó una disminución diferencial en el desarrollo de la espiga y la fijación de granos según el híbrido, independiente de la densidad. En la presente tesis se ha registrado en el híbrido más moderno DK72-10 una mayor sensibilidad de los rasgos analizados (principalmente el número de granos por espiga) ante reducciones en el crecimiento ocasionadas por combinaciones de densidad de plantas y disponibilidad de N. Sin embargo esto fue compensado por la mayor estabilidad en el crecimiento (menor variación del índice de estrés), lo que resultó en una similar fijación de granos que los genotipos de épocas de liberación anteriores.

1. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia mundial debido a su utilización como alimento de humanos y animales. Es el cereal de mayor producción en el mundo, la cual alcanzó 1.134.746.667 toneladas (FAOSTAT, 2017). Es altamente utilizado como alimento de gran parte de animales que luego son consumidos o utilizados como productores de alimento, por lo cual es de gran importancia. Además es uno de los alimentos básicos más importantes para el ser humano ya que a partir de su industrialización se pueden realizar gran cantidad de productos alimenticios y cuenta con otros destinos como la producción de jarabes, combustibles, etc.

El crecimiento continuo de la población mundial hace que aumente constantemente la demanda mundial de alimentos, entre ellos el maíz, para su alimentación. Esto crea la necesidad de aumentar la producción por medio del lanzamiento de híbridos de mayor potencial de rendimiento y del manejo más eficiente de los recursos. Además, la frontera agrícola se ha desplazado hacia zonas más marginales (menos productivas), donde la disponibilidad de recursos (ya sea hídricos o nutricionales) es limitada y por lo tanto hay mayor ocurrencia de estreses abióticos (por ejemplo estrés hídrico). Por ello, resulta de interés desarrollar genotipos con mayor tolerancia a dichos acontecimientos.

El estrés abiótico (ya sea hídrico o nutricional) domina la lista de limitaciones ambientales que reducen el rendimiento de los cultivos anuales en todo el mundo (Mueller *et al.*, 2012). Este estrés puede variar en duración e intensidad, y puede actuar simultánea o secuencialmente (Mooney *et al.*, 1991; Loomis y Connor, 1996; Sih *et al.*, 1998). Adicionalmente, la recomendación de aumentar la densidad de plantas promovidas por las empresas de semillas puede llevar a los cultivos a un estrés de alta densidad, que suele tener un efecto multiplicativo y no aditivo cuando se combina con otras limitantes (Rossini *et al.*, 2016).

El componente que mejor explica el rendimiento en maíz es el número de granos por unidad de superficie. Este componente es la resultante del número de granos por planta y de la cantidad de plantas por unidad de superficie. A su vez, el número de granos por planta se encuentra fuertemente asociado a la tasa de crecimiento de la planta durante un período de 30 días centrado en la floración femenina denominado “período crítico” (Andrade *et al.*, 1999).

El número de granos por planta resulta de la generación y supervivencia de diferentes subcomponentes numéricos correspondientes al desarrollo morfológico de la espiga, los cuales se definen en diferentes etapas dentro del ciclo del cultivo y son dependientes (en diferente magnitud) del crecimiento de las plantas durante la etapa en la cual se define cada uno de ellos (Rossini *et al.*, 2012).

1.1 Componentes numéricos del desarrollo morfológico de la espiga

En el momento en el cual las plantas de maíz tienen cuatro a seis hojas completamente expandidas (V4-V6; Ritchie y Hanway, 1982) se produce la iniciación floral del meristema apical, que comienza a diferenciar las espiguillas estaminadas correspondientes a la panoja. Poco tiempo después del inicio de encañazón (V7-V9), comienzan a diferenciarse en las yemas axilares los primordios de inflorescencia que darán origen a las espigas, iniciándose en ellas la formación de espiguillas pistiladas (Otegui y Melón, 1997). El número de hileras de espiguillas, que será el de hileras de granos de la futura espiga, queda definido tempranamente, y está fuertemente controlado por el genotipo (Otegui, 1997; Otegui y Melón, 1997). El desarrollo de flores dentro de la espiga progresa de manera acrópeta (*i.e.* desde la base a la punta) (Pagano *et al.*, 2007). Cercano al momento de la elongación de los primeros estigmas queda definido el número de flores totales por espiga (Figura 1). Luego, y dependiendo de las condiciones de crecimiento (Rossini *et al.*, 2012), se define el número de flores completamente desarrolladas (*i.e.* con estigma > 1mm) por espiga. Por último, y también dependiente del crecimiento de la planta, se define el número de flores desarrolladas que logran emitir sus estigmas por fuera de las chalas. Así, estas últimas, tendrán la posibilidad de ser fecundadas. Finalmente, sólo una proporción de flores fecundadas logra formar granos cosechables (Otegui, 1995; Rattalino Edreira *et al.*, 2011; Rossini *et al.*, 2012; Rossini *et al.*, 2016). Esta última etapa suele ser de gran importancia en el cultivo de maíz y puede verse alterada por condiciones que alteren el crecimiento de las plantas. Sin embargo, el resto de los componentes puede verse afectado de manera diferencial según el tipo e intensidad del estrés (Rossini *et al.*, 2016). Por ejemplo, las plantas pueden mantener relaciones Carbono/Nitrógeno (C/N) relativamente estables en los órganos reproductivos (espigas) en situaciones de deficiencia nitrogenada (D'Andrea *et al.*, 2008), mientras que

un déficit hídrico puede reducir considerablemente el potencial agua de estos órganos (Westgate y Boyer, 1986). Por lo tanto, según el estrés por deficiencia hídrica puede ejercer un efecto más marcado que el estrés por deficiencia de N para una determinada intensidad.

1.2 Mejoramiento genético en el cultivo de maíz

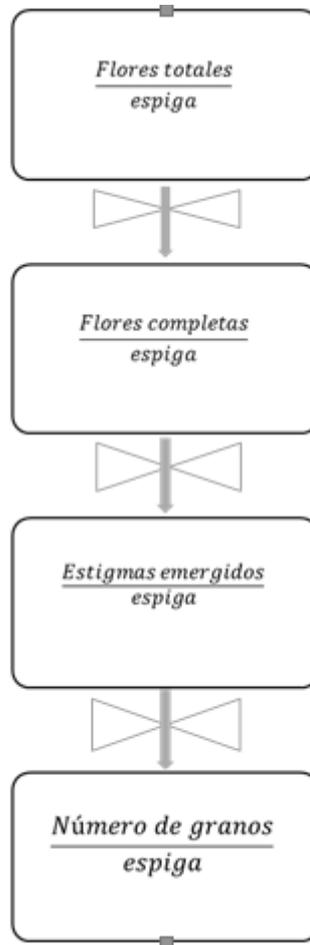
Se estima que la contribución del mejoramiento genético al incremento en el promedio nacional de rendimiento de maíz por hectárea en la Argentina en los últimos treinta años fue de aproximadamente el 50%. Este aporte debe ser considerado conjuntamente con los avances en el manejo del cultivo, ya que éste es parte del ambiente donde los logros genéticos pueden expresarse (Eyhéride, 2015).

Tollenaar (1989) por su parte describe que el aumento del rendimiento es atribuible a una mayor tolerancia de las plantas al estrés por el aumento de densidad, debido al mayor número de granos cosechables y a una menor proporción de plantas estériles (*i.e.* sin granos). Otro estudio centrado en los componentes ecofisiológicos del rendimiento indica que la mejora del rendimiento en el maíz se puede atribuir, en parte, al aumento de la partición de la materia seca a la espiga durante el período crítico (Echarte *et al.*, 2004). Un estudio posterior llevado a cabo en la zona núcleo maicera, determinó que la ganancia genética en términos de rendimiento estuvo dada por una mayor fijación de granos, mayor biomasa post-floración y por una mayor partición de biomasa hacia la espiga, aunque la ganancia fue dependiente del ambiente (Luque *et al.*, 2006). Por otra parte, un estudio llevado a cabo con dos híbridos de diferente tolerancia al estrés (sucedáneo de genotipos de diferentes épocas de liberación) (Rossini *et al.*, 2011) ha establecido un efecto diferencial del estrés hídrico respecto al estrés por N en cuanto al desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos en el híbrido más intolerante (Rossini *et al.* 2016). Hasta el momento, poco se sabe de los efectos del mejoramiento genético sobre los componentes del desarrollo morfogénico de la espiga en diferentes condiciones de crecimiento.

El presente trabajo evaluó el comportamiento en términos del desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos en tres híbridos de diferente época de liberación, uno representante de la década del 90 (DK664, con año de liberación en

1993), otro de la década del 2000 (DK190, con año de liberación en 2007) y otro en la década del 2010 (DK72-10, con año de liberación en 2012). El nivel de estrés causado en cada híbrido fue analizado en función del índice de estrés. Es decir, el índice de estrés se cuantificó como la relación entre la biomasa de la planta en R1 (floración femenina) sometida a estrés abiótico respecto a la biomasa de la planta sin limitaciones. Así, se determinó el desarrollo morfogénico de la espiga (número de flores totales y completas y número de estigmas expuestos) y el número de granos por espiga bajo diferentes niveles de estrés generados por la combinación de densidades de plantas y disponibilidades de N y agua. La utilización del índice de estrés permitió comparar las respuestas de las variables analizadas ante estreses originados por diferentes factores de manera estandarizada a una condición potencial.

Figura 1: Componentes del desarrollo morfogénico de la espiga que conducen al número de granos de maíz. Las llaves indican posibles regulaciones ejercidas por los diferentes estreses abióticos. Adaptado de Otegui y Andrade (2000).



*En la presente tesis se abordaron las tres fuentes de regulación, a excepción de la última, la cual sólo se aborda el aborto de flores fecundadas, considerando que no existió fallas en la polinización debido a la fuente de polen proveniente de ensayos cercanos.

2. Hipótesis

- 1) Los componentes del desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos tienen una sensibilidad diferencial ante el aumento del índice de estrés.
- 2) El índice de estrés por déficit hídrico tiene un mayor impacto que el índice de estrés por N sobre los componentes del desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos.
- 3) El híbrido más moderno tiene menor sensibilidad al índice de estrés que el híbrido más antiguo en términos de los rasgos analizados.

3. Objetivo general

Cuantificar el efecto de combinaciones de densidad y niveles de N (fertilizado y sin fertilizar) en dos ambientes de diferente disponibilidad hídrica (riego y seco) sobre el índice de estrés y su impacto sobre el desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos de tres híbridos de maíz de diferentes eras en la zona Norte de la provincia de Buenos Aires.

3.1 Objetivos específicos

Determinar en tres híbridos liberados en distinta época, creciendo bajo diferentes combinaciones de densidad, N y disponibilidad hídrica (regado y seco);

- 1) La relación entre las variables del desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos con el nivel de estrés (cuantificado como índice de estrés).
- 2) La sensibilidad del desarrollo morfogénico de la espiga de cada híbrido ante el aumento del índice de estrés.

4. Palabras clave

Maíz, Desarrollo morfogénico de la espiga, Época de liberación, Estrés abiótico, Índice de estrés.

5. Materiales y métodos

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 suelo Argiudol Típico. Se sembraron tres híbridos de maíz de diferente época de liberación: DK664 (1993), DK190 (2007) y DK72-10 (2012). Estos genotipos han sido ampliamente difundidos en la región. Los mismos fueron sembrados en bloques compuestos por parcelas que contaron con niveles contrastantes de N (N_n) (N_0 , sin fertilización y N_{200} , fertilizados con 200 kg N ha^{-1}). A su vez las parcelas estuvieron subdivididas en sub-parcelas con diferentes densidades (D_n) (D_6 , D_9 y D_{12} , 6, 9 y 12 plantas m^{-2} , respectivamente) y estas últimas estuvieron subdivididas en sub-sub-parcelas que difirieron en el híbrido sembrado. Este ensayo fue regado (R) durante todo el ciclo, de manera de mantener el suelo cercano a capacidad de campo. Adicionalmente el ensayo se replicó de igual forma en condición de seco (S) (sin riego).

Las unidades experimentales (sub-sub-parcelas) constaron de cinco hileras de 7 metros de longitud, separadas entre sí a una distancia de 0,520 m. Las parcelas fueron sobresembradas (sembrando semillas por encima de la densidad objetivo) de manera manual y luego raleadas manualmente en el estado de V3 a las densidades de plantas deseadas. En los surcos de los bordes, se sembraron plantas adicionales para asegurar la homogeneidad de las parcelas durante todo el período.

Se marcaron dos sitios por parcela de 6, 9 o 12 pl m^{-2} (según D_6 , D_9 o D_{12} , respectivamente).

El desarrollo morfogénico de la espiga se analizó en las plantas de uno de los sitios marcados, en laboratorio, con espigas cosechadas a los 4 días desde la emisión de los estigmas (R1, Ritchie y Hanway, 1982) de cada planta. El desarrollo morfogénico de la espiga se analizó utilizando una escala adaptada de Otegui y Melón (1997). Se analizó el número de estigmas expuestos (contando la cantidad de flores que tienen estigmas por fuera de la chala), el número de flores completamente desarrolladas (cantidad de flores que tienen estigma mayor a 1mm) y el número de flores potenciales (flores con estigmas menor a 1mm). En el otro sitio, al momento de madurez fisiológica (R6) se determinó el número de granos finales en espigas provenientes de las mismas parcelas.

En cada sitio, al momento de la floración femenina de cada planta, se estimó la biomasa por planta mediante un modelo alométrico ampliamente utilizado en esta especie (Vega *et al.*, 2001; Maddonni y Otegui, 2004). El modelo incluye mediciones morfométricas como altura hasta la última hoja ligulada, diámetro de la base del tallo y diámetro máximo de la espiga. Para la construcción de los mencionados modelos, se muestrearon semanalmente 15 plantas representativas de cada híbrido. En cada planta se tomaron mediciones de diámetro del tallo, altura y diámetro de la espiga. Posteriormente, cada planta se secó en estufa a 70°C hasta peso constante. Se ajustaron relaciones entre el volumen del tallo y la biomasa por planta y el diámetro de la espiga y la biomasa de la espiga (cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Parámetros del modelo alométrico para estimar la biomasa vegetativa por planta en R1.

Biomasa vegetativa				
Hibrido	a	b	r ²	n
664	-0,00005	0,1805	0,9351	84
190	-0,00004	0,1814	0,9147	84
72-10	-0,00006	0,1814	0,9453	84

Se ajustó una regresión cuadrática del tipo biomasa = ax²+bx; donde a es ordenada al origen y b es la pendiente.

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

Biomasa de espiga				
Hibrido	a	b	r ²	n
664	0,0002	3,26	0,9635	47
190	0,0004	3,0566	0,9426	47
72-10	0,0006	2,8844	0,9492	47

Se ajustó una regresión exponencial del tipo biomasa = ax^b; donde x es la base siendo positivo y ≠ 1.

El índice de estrés fue utilizado para evaluar la intensidad del estrés causado por los factores evaluados en el crecimiento de las plantas, cuyo rango de variación estará entre 0 y 1. Un índice de estrés de 0 correspondió a un tratamiento de referencia sin

estrés, representado por D6 N200 Riego. Para cada híbrido, el índice de estrés se obtuvo como se describe en la ecuación (1).

$$\text{Índice de estrés} = 1 - (\text{Biom pl}^{-1} \text{ D}_n \text{ N}_n \text{ CH} / \text{Biom pl}^{-1} \text{ D}_6 \text{ N}_{200} \text{ R}) \quad (1)$$

Dónde: Biom pl⁻¹ es la biomasa por planta en el estado de R1, D_n corresponde al tratamiento de densidad (n: 6, 9 y 12 pl m⁻²), N_n corresponde al tratamiento de disponibilidad de nitrógeno (n: 0 sin fertilizar y 200 fertilizado con 200 kg N ha⁻¹) y, CH corresponde a la condición hídrica (R, riego; S, seco).

Los efectos de los tratamientos en los valores medios fueron evaluados mediante ANOVA (Infostat, Di Renzo *et al.*, 2017). 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 período vegetativo (Septiembre, 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 4 meses: 18,44°C vs. Temperatura media durante el ensayo: 17,74°C) (Figura 2), precipitaciones por encima de la media histórica (Precipitaciones durante últimos 10 años: 420 mm vs. Precipitación durante el ensayo: 532 mm) (Figura 3), y una radiación solar apenas por arriba de la media histórica (Radiación solar media de los últimos 10 años: 18,92 Mj/m² vs. Radiación solar media durante el ensayo: 19,50 Mj/m²) (Figura 4). En el período crítico (Enero y Febrero) el cultivo tuvo situaciones de temperatura normales, similar a la media histórica (Temperatura media histórica durante los últimos 10 años: 22,60°C vs. Temperatura media durante el ensayo: 22,81°C), precipitaciones muy por encima de la media histórica, con días con precipitaciones muy intensas (Precipitaciones históricas durante los últimos 10 años: 325,34 mm vs. Precipitaciones durante el ensayo: 471 mm) y una radiación solar similar a la media histórica (Radiación solar media durante los últimos 10 años: Enero

21,60 Mj/m² vs. Radiación solar media durante el ensayo: 21,50 Mj/m²). Durante el período del llenado de grano (Marzo, Abril y Mayo) hubo temperatura similar a la media histórica (Temperatura media durante los últimos 10 años: 16,90°C vs. Temperatura media durante el ensayo: 16,83 °C), precipitaciones levemente por debajo de la media histórica (Precipitación media durante los últimos 10 años: 235,74 mm vs. Precipitación durante el ensayo: 207 mm) y una radiación solar levemente por debajo de la media histórica (Radiación solar media durante los últimos 10 años: Marzo 13,20 Mj/m² vs. Radiación solar media durante el ensayo: 12,17 Mj/m²).

Figura 2. Temperatura medida en °C durante la campaña agrícola (1/7/2017), las líneas horizontales por encima detallan los períodos críticos (15 días pre y post floración femenina) de los tres híbridos.

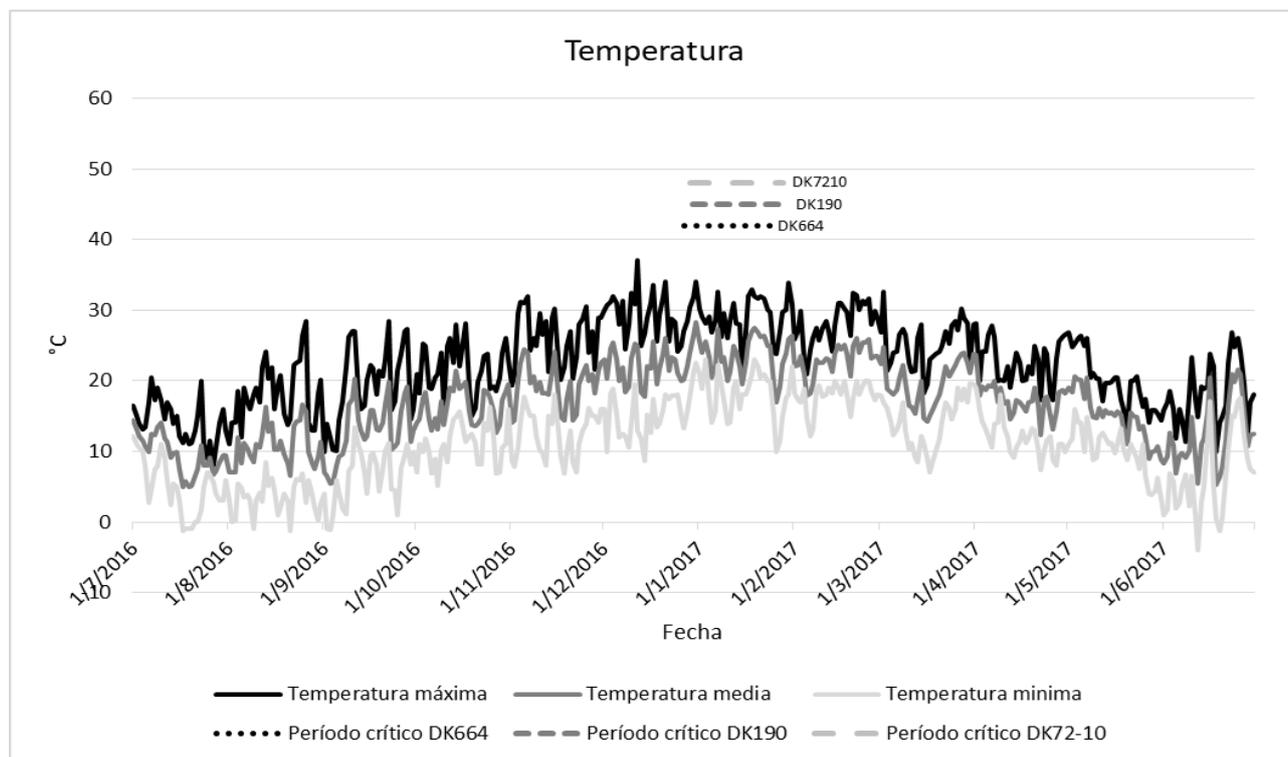


Figura 3. Precipitaciones medida en milímetros durante la campaña agrícola (1/7/2017), las líneas horizontales detallan los períodos críticos (15 días pre y post floración femenina) de los tres híbridos.

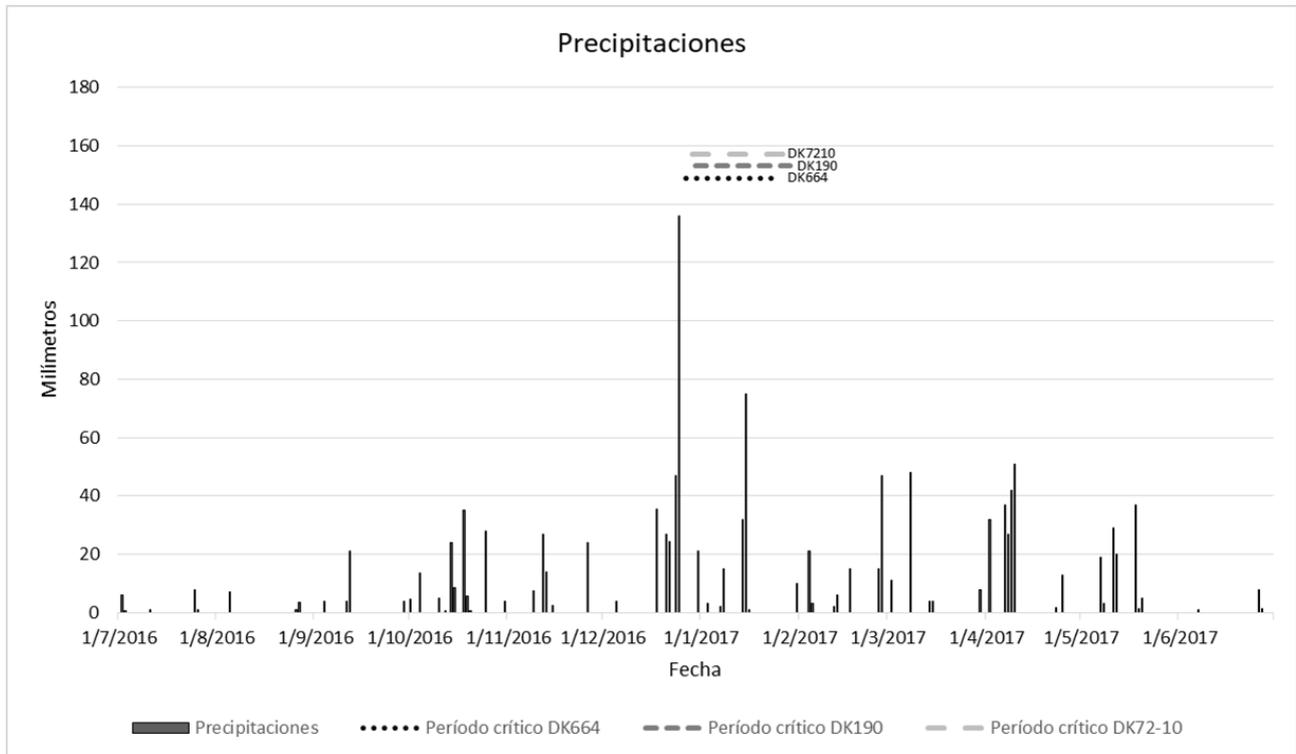
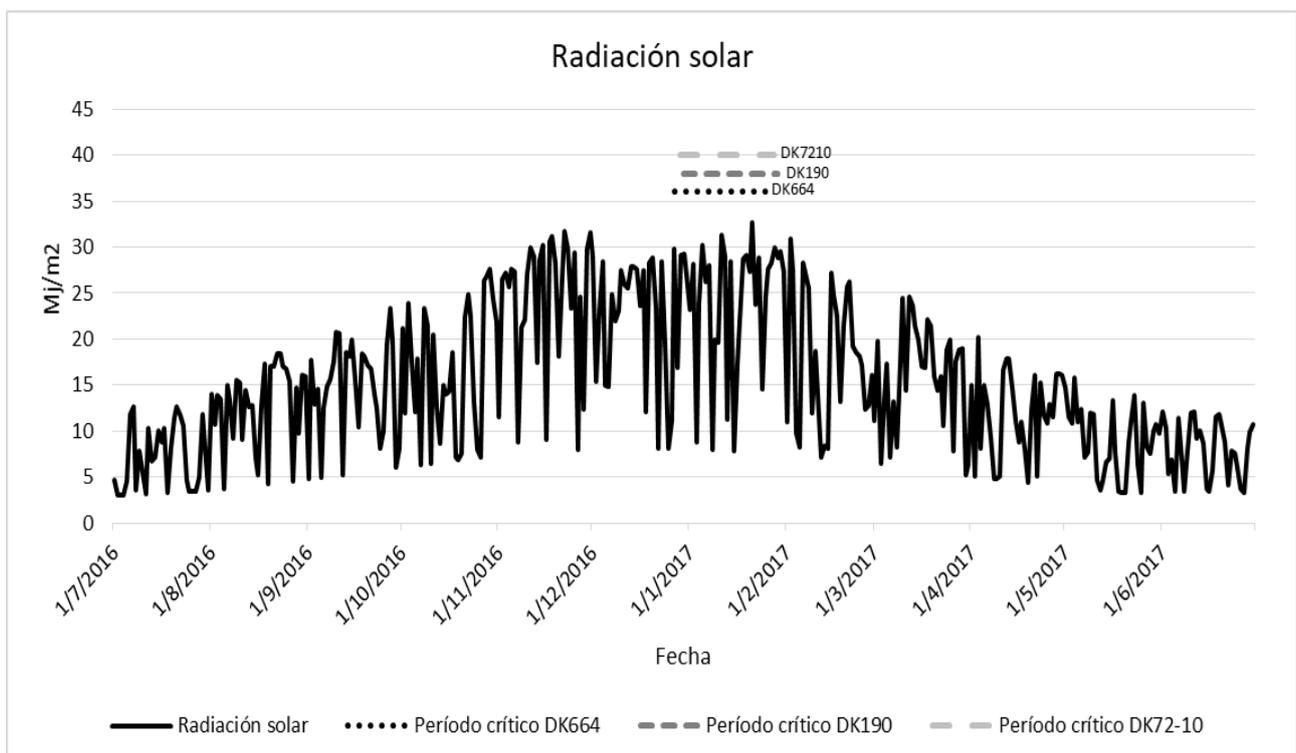


Figura 4. Radiación solar medida en Mj/m^2 durante la campaña agrícola (1/7/2017), donde se detallan los períodos críticos (15 días pre y post floración femenina) de los tres híbridos.



6.2 Biomasa por planta en floración femenina, desarrollo morfogénico de la espiga y fijación de granos

Para todas las combinaciones de híbrido x densidad, la deficiencia de N provocó una disminución de la biomasa por planta en R1 ($P < 0,010$; Tabla 1). De manera similar, el aumento de la densidad redujo ($P < 0,001$) la biomasa por planta para todos los genotipos en ambas disponibilidades de N. En promedio (entre densidades y disponibilidad de N), el Híbrido DK190 presentó mayor biomasa ($118,490 \text{ g pl}^{-1}$), seguido por el DK72-10 ($110,360 \text{ g pl}^{-1}$) y finalmente el DK664 ($109,310 \text{ g pl}^{-1}$) ($P < 0,001$).

Los efectos del N sobre número de flores totales y completas fue de diferente intensidad según el genotipo (interacción Híbrido x Nitrógeno; $P < 0,001$; Tabla 1), para la cual los híbridos DK72-10 y DK190 fueron los más sensibles ante la deficiencia de N (82 flores totales y 90 flores completas menos en N0 que en N200) respecto al genotipo más antiguo DK664 (34 flores totales y completas menos en N0 que en N200). Similarmente, el número de flores totales y completas del DK72-10 y del DK190 resultaron mayormente afectados ante el aumento de la densidad que para el híbrido DK664 (interacción Híbrido x Densidad; $P < 0,050$). Pese a tener una mayor sensibilidad ante el aumento del estrés, el DK72-10 exhibió una mayor cantidad de flores totales y completas respecto al resto, independientemente de las condiciones de densidad o N.

Se encontró una interacción significativa Densidad x Nitrógeno ($P < 0,010$), para la cual el aumento de la densidad en los tres genotipos provocó una reducción más marcada de las flores totales y completas en las situaciones de N0 (en promedio 104 flores totales y 114 flores desarrolladas menos) respecto a N200 (en promedio 22 flores totales y 26 flores completas menos).

La disminución de la disponibilidad de N tuvo un efecto diferente según el genotipo (interacción Nitrógeno x Híbrido; $P < 0,010$; Tabla 1) y según la densidad ($P < 0,100$) en el número de estigmas emergidos. El híbrido DK190 resultó ser el más sensible ante el estrés por N (95 estigmas menos en N0), seguido por el DK72-10 (65 estigmas menos en N0) y finalmente el DK664 (40 estigmas menos en N0). Similarmente al número de flores completas y desarrolladas, el aumento de la densidad redujo significativamente el número de estigmas expuestos pero el efecto fue más marcado en N0 que en N200.

La disminución de N siempre produjo una reducción ($P < 0,001$) en el número de granos por plantas fijado (Tabla 1). El aumento de la densidad redujo el número de granos pero diferencialmente según el híbrido (interacción híbrido x densidad; $P < 0,050$), donde el DK72-10 fue el más sensible, seguido por el DK664 y por último el DK190. Por lo tanto, en densidades de 6 y 9 plantas m^{-2} el híbrido DK72-10 fue superior al híbrido DK190 y este superior al híbrido DK664, pero en densidades de 12 plantas m^{-2} fue el híbrido DK190 superior al híbrido DK664 y este superior al híbrido DK72-10.

Tabla 1. Valores medios y ANOVA de la biomasa por planta en R1, índice de estrés, de los rasgos de desarrollo morfogénico de la espiga analizados y número de granos fijados por planta.

Híbrido	Densidad	N	Biomasa en R1 $g\ pl^{-1}$	Índice de estrés	Flores totales espiga ⁻¹	Flores completas espiga ⁻¹	Estigmas emergidos espiga ⁻¹	Granos fijados planta ⁻¹
664	6	0	125	-0,01	664	649	567	483
		200	132,6	0	667	650	585	547
	9	0	97,5	0,26	619	599	507	375
		200	112,6	0,15	665	646	555	440
	12	0	89,5	0,33	600	578	484	323
		200	98,7	0,25	652	633	539	413
190	6	0	133,4	0,12	700	683	558	477
		200	152	0	743	730	635	566
	9	0	108,9	0,30	648	622	520	367
		200	116,9	0,23	739	723	604	482
	12	0	91,5	0,41	597	565	455	327
		200	108,2	0,26	725	710	578	429
72-10	6	0	126,6	0,05	776	749	587	506
		200	125,4	0	806	784	617	556
	9	0	106,7	0,15	718	690	538	412
		200	110,4	0,12	781	757	592	488
	12	0	88,6	0,27	630	596	474	286
		200	104,5	0,30	771	743	587	408

Nivel de significancia de efectos principales e interacciones

Nitrógeno (N)	** (3,80)	*** (0,03)	*** (11,82)	*** (12,52)	*** (13,53)	*** (16,03)
Híbrido (H)	*** (5,59)	*** (0,04)	*** (17,37)	*** (18,40)	** (19,88)	
Densidad (D)	*** (5,59)	*** (0,04)	*** (17,37)	*** (18,40)	*** (19,88)	*** (23,56)
N x H			*** (30,04)	*** (31,81)	** (34,37)	

N x D	** (30,06)	** (31,81)	† (34,37)
H x D	* (40,18)	* (42,54)	* (54,47)
N x H x D			

†, *, **, *** representan $P < 0,100$, $P < 0,050$, $P < 0,010$, y $P < 0,001$, respectivamente para los factores principales e interacciones significativas. Los valores entre paréntesis corresponden a la mínima diferencia significativa para la comparación.

6.3. Respuesta de los componentes de desarrollo morfogénico de la espiga y fijación de granos al índice de estrés

Para los tres genotipos analizados, el aumento de la densidad y la deficiencia de N aumentaron el índice de estrés ($P < 0,001$). En todas las combinaciones de densidad x disponibilidad de nitrógeno, el Híbrido DK190 presentó mayor índice de estrés promedio (0,228) y el mayor rango de variación (Figura 5), seguido por el DK664 (0,173) y finalmente el DK72-10 (0,1183) con el menor rango de variación ($P < 0,001$).

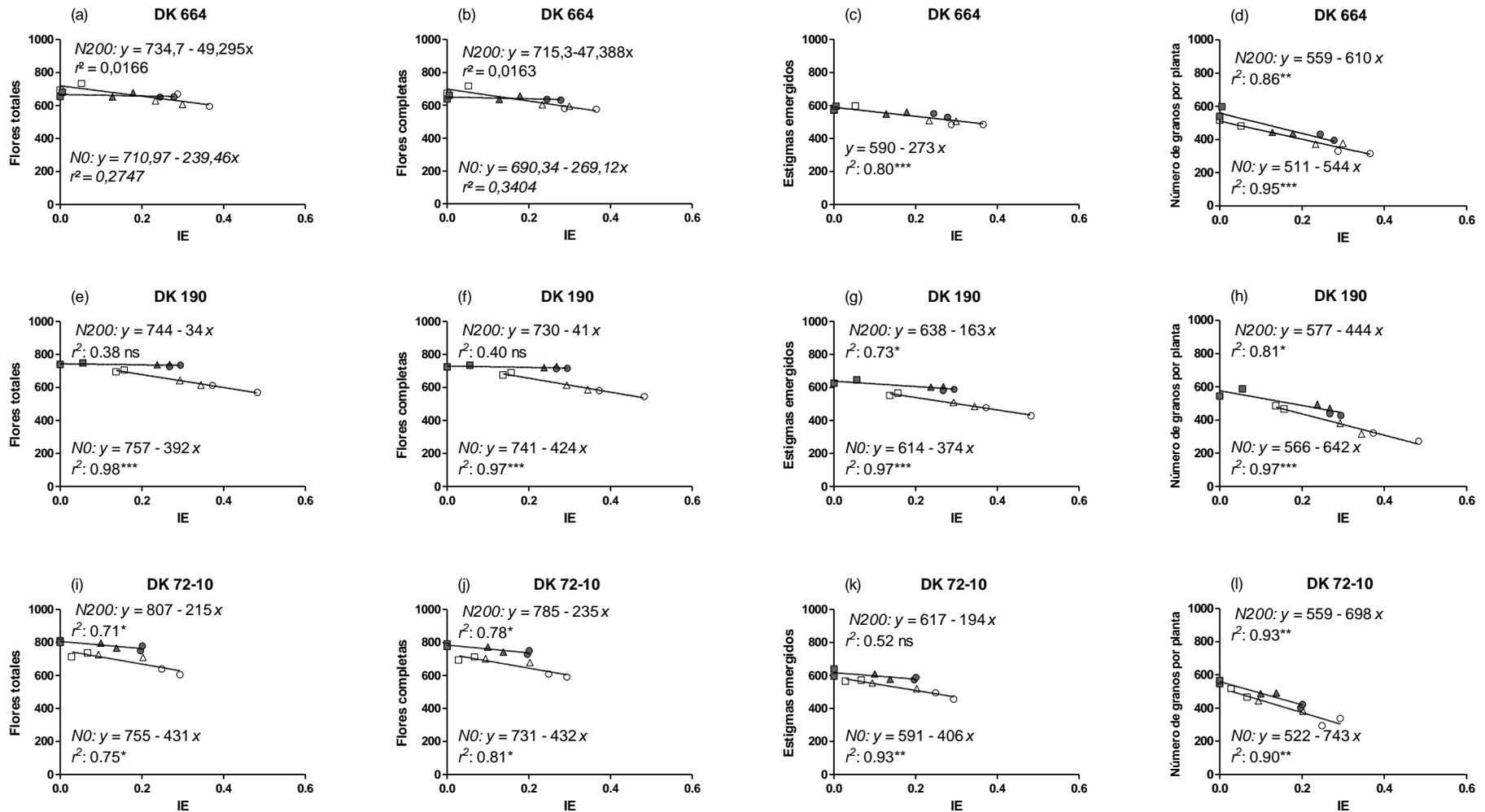
Los rasgos del desarrollo y la fijación de granos respondieron negativamente al aumento del índice de estrés (Figura 5), con una tendencia a la disminución de la ordenada al origen a medida que aumentó el grado de desarrollo considerado (*i.e.* de las flores totales al número de granos). La pendiente de las rectas ajustadas del número de granos fue significativamente mayor (*i.e.* más negativa) que aquellas ajustadas para el resto de los rasgos del desarrollo.

Los genotipos estudiados se comportaron de manera diferencial según el rasgo del desarrollo considerado y del tipo de factor que generó el estrés. Los rasgos del desarrollo (flores totales y desarrolladas) del híbrido más antiguo DK664 respondieron significativamente al aumento del índice de estrés generado por las combinaciones de aumento de densidad y baja disponibilidad de N (Figura 5 a-b; Anexo Figuras 1-2). En cambio el aumento de densidad en condiciones sin deficiencia de N no ejerció un efecto significativo sobre estos rasgos. El número de estigmas emergidos respondió significativamente a las combinaciones de densidad y disponibilidad de N y se pudo ajustar una recta a todo el set de datos (Figura 5 c; Anexo Figura 3). Para el híbrido DK190 el aumento de la densidad en condiciones sin deficiencia de N no ejerció efecto significativo sobre las flores y estigmas emergidos (pendiente no significativa; Figura 5 e-f-

g; Anexo Figuras 5-6-7). En cambio, la combinación del aumento de densidad y la deficiencia de N afectaron considerablemente los rasgos del desarrollo morfológico de la espiga ($P < 0,001$). Para el híbrido más moderno DK72-10, los rasgos del desarrollo respondieron negativamente al aumento del índice de estrés generado por el aumento de la densidad (excepto NEE) con un efecto adicional de la deficiencia de N en todo el rango explorado de índice de estrés ($P < 0,050$; Anexo Figuras 9-10-11), así se ajustaron funciones lineales para cada condición de disponibilidad de N (Figura 5 i-j-k), las cuales difirieron sólo en la ordenada al origen ($P < 0,050$; Anexo Figuras 9-10-11).

La fijación de granos resultó fuertemente reducida a causa del aumento del índice de estrés y los genotipos estudiados respondieron de manera similar según sea la condición de disponibilidad de N, el cual ejerció un efecto adicional sobre la reducción en la fijación de granos independientemente de la densidad de siembra. Así, fue posible ajustar una función lineal para cada condición de N, las cuales difirieron sólo en la ordenada al origen ($P < 0,050$; Figura 5 d-h-l). En ambas condiciones de N, los genotipos difirieron en la ordenada al origen, donde el DK190 presentó los mayores valores, seguido por el DK72-10 y por último el DK664. No existieron diferencias significativas en las pendientes, aunque el híbrido más moderno DK72-10 presentó mayor pendiente que el resto de los genotipos en ambas condiciones de N (Anexo Figuras 4-8-12).

Figura 5. Relación entre número de flores totales, completas, estigmas emergidos y número de granos por planta con el índice de estrés (IE). Símbolos vacíos y llenos pertenecen a tratamientos de N0 y N200, respectivamente. Cuadrados pertenecen a D6, triángulos a D9 y círculos a D12.



7. Discusión

En el presente trabajo se ha estudiado el efecto combinado del estrés por N y por densidad sobre el desarrollo morfogénico de la espiga en plantas de tres híbridos de maíz de diferente época de liberación. La utilización del índice de estrés permitió unificar criterios, comparando la sensibilidad de los componentes del desarrollo morfogénico de la espiga ante una intensidad de estrés equivalente, independientemente del factor que lo genere (Rossini *et al.*, 2016). El año en el cual se llevó a cabo el ensayo fue muy húmedo (*i.e.* las precipitaciones por encima de la media histórica), por lo que no se logró generar la condición de estrés hídrico. Así, esta tesis se centró principalmente en el estudio del estrés por N y por densidad en los rasgos del desarrollo morfogénico de la espiga y la fijación de granos considerando ambas condiciones de disponibilidad hídrica (riego y seco) como si fueran una misma condición.

La deficiencia de N y la alta densidad causaron una marcada disminución en la biomasa por planta en estado de floración femenina con respecto al testigo sin estrés (Maddonni y Otegui, 2004; Pagano y Maddonni, 2007; Rossini, 2012). La combinación del aumento de la densidad en condiciones de deficiencia de N no tuvo interacción sobre la biomasa por planta, por lo que tuvo un efecto multiplicativo y no sinérgico, apoyando lo expuesto por Rossini *et al.* (2016). Los tres genotipos estudiados presentaron similar respuesta a la combinación de estreses, aunque la biomasa por planta del híbrido más moderno DK72-10 resultó tener menor rango de variación que la del híbrido DK190, por lo que el híbrido más moderno presentó mayor estabilidad en este rasgo ante condiciones de reducida disponibilidad de recursos.

Los rasgos del desarrollo morfogénico de la espiga (*i.e.* flores totales, desarrolladas y estigmas expuestos) de los tres genotipos resultaron sensibles ante el incremento del índice de estrés, principalmente cuando se combinaron la alta densidad con la deficiencia de N. Pero, aún en condiciones potenciales (*i.e.* baja densidad y fertilizado) hubo una disminución del número de estructuras reproductivas respecto a las potenciales. Esto se observó por una tendencia a la disminución de la ordenada al origen a medida que se consideró al mayor grado de desarrollo. Así, en el presente trabajo, en condiciones sin restricciones hídrico-nutricionales, se registró un 2,5% de pérdida de flores respecto al total y un 17% de estigmas respecto a la cantidad de flores

desarrolladas, valores similares al rango de 3-25% registrado para un set de híbridos en similares condiciones de crecimiento (Otegui *et al.*, 1995; Cárcova *et al.*, 2000; Cárcova y Otegui, 2001; Rattalino Edreira *et al.*, 2011; Rossini *et al.*, 2012; DeBruin *et al.*, 2018). La fijación de granos resultó ser el proceso más sensible, aunque en condiciones potenciales mostró una magnitud menor (8%) a la pérdida de estigmas expuestos. Esta pérdida en condiciones potenciales se encontró en el límite inferior del rango de aborto registrado en trabajos anteriores (8-25%; Otegui *et al.*, 1995; Cárcova *et al.*, 2000; Cárcova y Otegui, 2001; Rattalino Edreira *et al.*, 2011; Rossini *et al.*, 2012; DeBruin *et al.*, 2018). Sin embargo, ante el incremento del estrés el número de granos respondió más sensiblemente que el resto de los rasgos del desarrollo (mayor pendiente). Esta respuesta concuerda con lo esperado y con lo hallado en otros trabajos en los que se ha estudiado las diferentes fuentes de pérdida del número de granos en condiciones de estrés (Otegui *et al.*, 1995; Rattalino Edreira *et al.*, 2011; DeBruin *et al.*, 2018) respaldando que el aborto de flores fecundadas es el proceso más importante en la definición del número de granos por planta (Rattalino Edreira *et al.*, 2011; Rossini *et al.*, 2012).

Los genotipos estudiados presentaron respuestas diferentes según el rasgo considerado y el factor que generó el estrés. Así, para el híbrido más antiguo DK664, la combinación de deficiencia de N y alta densidad afectaron a los rasgos del desarrollo a través de la reducción del crecimiento, mientras que el aumento de densidad en condiciones sin restricción de N no tuvo un efecto significativo (pendiente no significativa). Similarmente, la deficiencia de N en el híbrido DK190 ejerció su efecto sólo cuando se combinó con la alta densidad pero en mayor magnitud que el híbrido DK664. En cambio, el déficit de N ejerció un efecto adicional desligado del crecimiento en el híbrido DK72-10. Así, independientemente de la reducción en la biomasa por planta generada por el aumento de la densidad, la deficiencia de N tuvo un efecto *per se* en los rasgos del desarrollo morfogénico de la espiga del híbrido DK72-10. Esta respuesta puede deberse a un efecto de la deficiencia de N sobre la partición de biomasa a espiga (D'Andrea *et al.*, 2008), un efecto sobre la capacidad de utilizar los asimilados por parte de la espiga (Below *et al.*, 2000), y/o un efecto *per se* del N sobre el proceso de morfogénesis. Las situaciones de restricción de asimilados a los órganos en formación dentro de la espiga pudieron alterar la diferenciación de estructuras florales y el crecimiento de los estigmas para su extrusión por fuera de las chalas (Rossini *et al.*, 2012). El efecto *per se* de un

estrés sobre la morfogénesis de la espiga no ha sido registrado previamente. Estudios anteriores han determinado un efecto del estrés hídrico sólo en la fijación de granos no relacionado al crecimiento o disponibilidad de asimilados (Rossini *et al.*, 2016; Oury *et al.*, 2016-b). Los mecanismos detrás de estas respuestas pueden estar ligados a la capacidad expansiva (propiedades de la pared celular) de los órganos en formación (Oury *et al.*, 2016-a). Restan estudios más detallados para dilucidar si la deficiencia de N ejerce algún efecto similar a la restricción hídrica en estas cuestiones. Sorprendentemente, en los tres genotipos estudiados la deficiencia de N ejerció un efecto adicional en la reducción del número de granos en todo el rango explorado de índice de estrés generado por la densidad de siembra. De esta manera, la menor disponibilidad de N ejerció un efecto sobre el establecimiento del número de granos operando posiblemente a través de las tres vías anteriormente mencionadas. La mayor estabilidad en el índice de estrés del híbrido DK72-10 compensó la mayor sensibilidad registrada para él respecto al resto. De esta manera, los tres genotipos presentaron similar número de granos (~300) ante situaciones de elevado estrés (alta densidad sin fertilizar). Este resultado se encuentra en contraposición a lo esperado y lo registrado en otros trabajos (Ferrari, 2018), donde los híbridos más modernos presentan mayor estabilidad en la fijación de granos ante situaciones de estrés (Tollenaar y Lee 2002).

8. Conclusiones

La presente investigación estuvo destinada a establecer un vínculo entre el desarrollo morfológico de la espiga en distintas condiciones de estrés por N y por densidad mediante el uso del índice de estrés. Se utilizaron 3 híbridos comerciales de la misma empresa semillera, representantes de 3 épocas de liberación y ampliamente difundidos en la zona núcleo maicera. Los distintos componentes de desarrollo de la espiga (flores, estigmas emergidos y número de granos) resultaron sensibles al aumento del estrés generado por las combinaciones de densidad y disponibilidad de N, aunque la fijación de granos resultó mayormente sensible respecto al resto de los rasgos. Así, en la presente tesis no se rechazó la primera hipótesis planteada.

Debido a las condiciones climáticas exploradas por el cultivo durante la campaña en la cual se desarrolló el experimento, no fue posible generar la situación de deficiencia

hídrica, por lo que la segunda hipótesis planteada queda aún sin poder contrastarse. Sin embargo, el déficit por N generó una disminución diferencial en el desarrollo de la espiga y la fijación de granos según el híbrido, independiente de la densidad. Resta dilucidar el proceso fisiológico detrás de estos hallazgos.

En la presente tesis se ha registrado en el híbrido más moderno DK72-10 una mayor sensibilidad de los rasgos analizados (principalmente el número de granos por espiga) ante reducciones en el crecimiento ocasionadas por combinaciones de densidad de plantas y disponibilidad de N. Sin embargo esto fue compensado por la mayor estabilidad en el crecimiento (menor variación del índice de estrés), lo que resultó en una similar fijación de granos que los genotipos de eras anteriores. Por lo tanto, la tercera hipótesis planteada fue rechazada.

9. Bibliografía

- Andrade, F.H., Vega, C.R.C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39, 453-459.
- Below, FE; Cazzetta, JO; Seebauer, JR. 2000. Carbon/nitrogen interactions during ear and kernel development of maize. p. 15–24. In M. Westgate and K. Boote (Ed.) *Physiology and modeling kernel set in maize.* CSSA Spec. Publ. 29. CSSA, Madison, WI.
- Cárcova, J; Uribe Larrea, M; Borrás, L; Otegui, ME; Westgate, ME. 2000. Synchronous pollination within and between ears improves kernel set in maize. *Crop Sci.* 40, 1056-1061.
- Cárcova, J; Otegui, ME. 2001. Ear temperature and pollination timing effect on maize kernel set. *Crop Sci.* 41, 1809-1815.
- 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.
- DeBruin, JL; Hemphill, B; Schussler, JR. 2018. Silk Development and Kernel Set in Maize as Related to Nitrogen Stress. *Crop Sci.* 58, 1–12. Disponible en <http://doi.org/10.2135/cropsci2018.03.0160>

- Echarte, L; Andrade, FH; Vega, CRC; Tollenaar, M. 2004. Kernel determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Crop Sci.* 44, 1654-1661.
- Eyhérbide, GH. 2015. Bases para el manejo del cultivo de maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino, AR. 297p.
- FAOSTAT. 2017. Food and agriculture data consultado el 8/02/2019. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- Ferrari, M. 2018. Desarrollo reproductivo en híbridos de maíz liberados entre 1980 y 2010 creciendo en condiciones contrastantes de disponibilidad de nitrógeno y densidad de plantas. Tesis Ing. Agr. Junín, AR, UNNOBA. 18 p.
- Infostat, Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW; 2017. InfoStat versión. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- Loomis, RS; Connor, DJ. 1996. Crop ecology. In: *Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 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.
- Maddoni, GA; Otegui, ME. 2004. Intra-specific competition in maize: early determined hierarchies among plants affect final kernel set. *Field Crops Res.* 85, 1–13.
- Mooney, HA; Winner, WE; Pell, EJ. 1991. *Response of Plants to Multiple Stresses*. Academic Press, New York.
- Mueller, ND; Gerber, JS; Johnston M; Ray, DK; Ramankutty, N; Foley, JA. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490, 254–257. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/nature11420>.
- Otegui, ME. 1995. Prolificacy and grain yield components in modern Argentinean maize hybrids. *Maydica* 40, 371-376.
- Otegui, ME. 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. II. Plant population effects. *Crop Sci.* 37, 448-455.
- Otegui, ME; Melón, S. 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. Sowing date effects. *Crop Sci.* 37, 441–447.

- Otegui, ME; Andrade, FH. 2000. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. *Crop Science Society of America and American Society of Agronomy*. 29, 89-102.
- Oury, V; Caldeira, CF; Prodhomme D; Pichon J-P; Gibon Y; Tardieu F; Turco O. 2016-a. Is Change in Ovary Carbon Status a Cause or a Consequence of Maize Ovary Abortion in Water Deficit during Flowering?. *Plant Physiology* 171, 997–1008. Disponible en www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.15.01130
- Oury, V; Tardieu, F; Turc, O. 2016-b. Ovary Apical Abortion under Water Deficit Is Caused by Changes in Sequential Development of Ovaries and in Silk Growth Rate in Maize. *Plant Physiology* 171, 986–996. Disponible en www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.15.00268
- Pagano, E; Cela, S; Maddonni GA; Otegui, ME. 2007. Intra-specific competition in maize: Ear development, flowering dynamics and kernel set of early established plant hierarchies. *Field Crops Res.* 102, 198-209
- 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.
- Rattalino Edreira, JI; Maddonni, GA; Otegui, ME. 2011. Golpe de calor y productividad en maíz: El ambiente y la genética. *Revista técnica de los productores en siembra directa (AAPRESID)*. Rosario, Argentina, pp. 1-7.
- Ritchie, SW; Hanway, JJ. 1982. How a Corn Plant Develops. Iowa State Univ. Special Report 48.
- 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. *Field Crops Res.* 121, 373-380. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.003>.
- Rossini, MA; Maddonni, GA; Otegui, ME. 2012. Inter-plant variability in maize crops grown under contrasting N x stand density combinations: Links between development, growth and kernel set. *Field Crops Res.* 133, 90-100. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.010>.

- Rossini, MA; Maddonni, GA; Otegui, ME. 2016. Multiple abiotic stresses on maize grain yield determination: Additive's multiplicative effects. *Field Crops Res.* 198, 280–289. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.004>.
- Sih, A; Goran, E; Wooster, D. 1998. Emergent impacts of multiple predators' on prey. *Trends Ecol. Evol.* 13, 350–355. Disponible en [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01437-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01437-2).
- Tollenaar, M. 1989. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.* 29, 1365-1371.
- Tollenaar, M; Lee, EA. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75, 161–169. Disponible en [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00024-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00024-2).
- Vega, CRC; Andrade, FH; Sadras, VO. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Res.* 72, 163–175.
- Westgate, ME; Boyer, JS. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Sci.* 26, 951-956.

ANEXO

Figura 1: Número de flores totales en función del índice de estrés para el híbrido DK664 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-315.3 ± 93.66	-44.45 ± 53.36
3	Y-intercept when X=0.0	720.1 ± 23.05	667.6 ± 9.389
4	X-intercept when Y=0.0	2.284	15.02
5	1/slope	-0.003171	-0.02250
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-575.3 to -55.34	-192.6 to 103.7
8	Y-intercept when X=0.0	656.1 to 784.1	641.6 to 693.7
9	X-intercept when Y=0.0	1.341 to 12.05	3.573 to +infinity
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.7392	0.1478
12	Sy.x	30.72	14.06
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	11.34	0.6938
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000
16	P value	0.0281	0.4517
17	Deviation from zero?	Significant	Not Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?
F = 5.42587. DFn=1 DFd=8
P=0.04821

If the overall slopes were identical, there is a 4.8% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are significant.

Because the slopes differ so much, it is not possible to test whether the intercepts differ significantly.

Figura 2: Número de flores desarrolladas en función del índice de estrés para el híbrido DK664 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-362.2 ± 75.95	-53.40 ± 48.91
3	Y-intercept when X=0.0	698.5 ± 18.69	650.4 ± 8.606
4	X-intercept when Y=0.0	1.929	12.18
5	1/slope	-0.002761	-0.01873
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-573.0 to -151.3	-189.2 to 82.38
8	Y-intercept when X=0.0	646.6 to 750.4	626.6 to 674.3
9	X-intercept when Y=0.0	1.292 to 4.331	3.537 to +infinity
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.8504	0.2296
12	Sy.x	24.92	12.89
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	22.74	1.192
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000
16	P value	0.0089	0.3363
17	Deviation from zero?	Significant	Not Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?

F = 10.2277. DFn=1 DFd=8

P=0.01265

If the overall slopes were identical, there is a 1.3% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are significant.

Because the slopes differ so much, it is not possible to test whether the intercepts differ significantly.

Figura 3: Número de estigmas emergidos en función del índice de estrés para el híbrido DK664 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B	
		N0	N200	
		Y	Y	
1	Best-fit values			<u>Are the slopes equal?</u> F = 3.00891. DF _n =1 DF _d =8 P=0.121
2	Slope	-308.0 ± 57.27	-171.8 ± 49.07	If the overall slopes were identical, there is a 12% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not significant.
3	Y-intercept when X=0.0	589.0 ± 14.09	583.6 ± 8.634	
4	X-intercept when Y=0.0	1.912	3.396	
5	1/slope	-0.003247	-0.005820	Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -254.566
6	95% Confidence Intervals			
7	Slope	-466.9 to -149.0	-308.0 to -35.61	<u>Are the elevations or intercepts equal?</u>
8	Y-intercept when X=0.0	549.8 to 628.1	559.6 to 607.5	F = 2.57601. DF _n =1 DF _d =9
9	X-intercept when Y=0.0	1.329 to 3.735	1.955 to 15.86	P=0.143
10	Goodness of Fit			
11	r ²	0.8785	0.7540	If the overall elevations were identical, there is a 14% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are not significant.
12	Sy.x	18.79	12.93	
13	Is slope significantly non-zero?			
14	F	28.92	12.26	Since the Y intercepts are not significantly different, it is possible to calculate one Y intercept for all the data. The pooled intercept equals 586.521
15	DF _n , DF _d	1,000, 4,000	1,000, 4,000	
16	P value	0.0058	0.0249	
17	Deviation from zero?	Significant	Significant	
18	Data			
19	Number of X values	6	6	
20	Maximum number of Y replicates	1	1	
21	Total number of values	6	6	
22	Number of missing values	6	6	
23				
24				
25				
26				

Figura 4: Número de granos fijados en función del índice de estrés para el híbrido DK664 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B	
		N0	N200	
		Y	Y	
1	Best-fit values			<u>Are the slopes equal?</u> F = 0.248049. DFn=1 DFd=8 P=0.6319
2	Slope	-544.2 ± 61.50	-610.4 ± 124.9	If the overall slopes were identical, there is a 63% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not significant.
3	Y-intercept when X=0.0	511.1 ± 15.14	559.3 ± 21.98	
4	X-intercept when Y=0.0	0.9391	0.9162	Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -570.199
5	1/slope	-0.001837	-0.001638	
6	95% Confidence Intervals			
7	Slope	-715.0 to -373.5	-957.1 to -263.7	<u>Are the elevations or intercepts equal?</u> F = 5.64996. DFn=1 DFd=9 P=0.04143
8	Y-intercept when X=0.0	469.1 to 553.1	498.3 to 620.3	If the overall elevations were identical, there is a 4.1% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are significant.
9	X-intercept when Y=0.0	0.7604 to 1.278	0.6306 to 1.942	
10	Goodness of Fit			
11	r ²	0.9514	0.8566	
12	Sy.x	20.18	32.92	
13	Is slope significantly non-zero?			
14	F	78.30	23.89	
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000	
16	P value	0.0009	0.0081	
17	Deviation from zero?	Significant	Significant	
18	Data			
19	Number of X values	6	6	
20	Maximum number of Y replicates	1	1	
21	Total number of values	6	6	
22	Number of missing values	6	6	
23				
24				
25				
26				

Figura 5: Número de flores totales en función del índice de estrés para el híbrido DK190 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-391.6 ± 25.85	-33.82 ± 21.39
3	Y-intercept when X=0.0	756.6 ± 8.318	743.9 ± 4.703
4	X-intercept when Y=0.0	1.932	22.00
5	1/slope	-0.002553	-0.02957
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-463.4 to -319.9	-93.19 to 25.55
8	Y-intercept when X=0.0	733.5 to 779.7	730.8 to 756.9
9	X-intercept when Y=0.0	1.678 to 2.299	8.101 to +infinity
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.9829	0.3846
12	Sy·x	7.667	6.027
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	229.6	2.500
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000
16	P value	0.0001	0.1890
17	Deviation from zero?	Significant	Not Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?

F = 112.396. DFn=1 DFd=8

P<0.0001

If the overall slopes were identical, there is less than a 0.01% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are extremely significant.

Because the slopes differ so much, it is not possible to test whether the intercepts differ significantly.

Figura 6: Número de flores desarrolladas en función del índice de estrés para el híbrido DK190 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-423.8 ± 36.35	-40.92 ± 25.06
3	Y-intercept when X=0.0	741.3 ± 11.70	730.2 ± 5.511
4	X-intercept when Y=0.0	1.749	17.84
5	1/slope	-0.002359	-0.02444
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-524.7 to -322.9	-110.5 to 28.65
8	Y-intercept when X=0.0	708.9 to 773.8	714.9 to 745.5
9	X-intercept when Y=0.0	1.469 to 2.204	6.726 to +infinity
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.9714	0.3999
12	Sy.x	10.78	7.062
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	135.9	2.666
15	DFn, DFd	1,000, 4,000	1,000, 4,000
16	P value	0.0003	0.1779
17	Deviation from zero?	Significant	Not Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?

F = 73.657. DFn=1 DFd=8

P<0.0001

If the overall slopes were identical, there is less than a 0.01% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are extremely significant.

Because the slopes differ so much, it is not possible to test whether the intercepts differ significantly.

Figura 7: Número de estigmas emergidos en función del índice de estrés para el híbrido DK190 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-375.3 ± 28.04	-163.5 ± 49.34
3	Y-intercept when X=0.0	614.4 ± 9.023	638.5 ± 10.85
4	X-intercept when Y=0.0	1.637	3.905
5	1/slope	-0.002664	-0.006117
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-453.1 to -297.5	-300.4 to -26.53
8	Y-intercept when X=0.0	589.4 to 639.5	608.3 to 668.6
9	X-intercept when Y=0.0	1.406 to 1.989	2.209 to 23.10
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.9762	0.7330
12	Sy.x	8.318	13.90
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	179.2	10.98
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000
16	P value	0.0002	0.0295
17	Deviation from zero?	Significant	Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?
 F = 14.2728. DF_n=1 DF_d=8
 P=0.005404

If the overall slopes were identical, there is a 0.54% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are very significant.

Because the slopes differ so much, it is not possible to test whether the intercepts differ significantly.

Figura 8: Número de granos fijados en función del índice de estrés para el híbrido DK190 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B	
		N0	N200	
		Y	Y	
1	Best-fit values			<u>Are the slopes equal?</u> F = 2.662. DF _n =1 DF _d =8 P=0.1414
2	Slope	-641.6 ± 57.45	-443.8 ± 108.6	If the overall slopes were identical, there is a 14% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not significant.
3	Y-intercept when X=0.0	565.8 ± 18.49	576.7 ± 23.88	
4	X-intercept when Y=0.0	0.8819	1.299	Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -547.803
5	1/slope	-0.001559	-0.002253	
6	95% Confidence Intervals			
7	Slope	-801.1 to -482.1	-745.2 to -142.4	<u>Are the elevations or intercepts equal?</u> F = 11.5344. DF _n =1 DF _d =9 P=0.00792
8	Y-intercept when X=0.0	514.5 to 617.1	510.5 to 643.0	If the overall elevations were identical, there is a 0.79% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are very significant.
9	X-intercept when Y=0.0	0.7626 to 1.078	0.8457 to 3.656	
10	Goodness of Fit			
11	r ²	0.9689	0.8069	
12	Sy.x	17.04	30.60	
13	Is slope significantly non-zero?			
14	F	124.7	16.71	
15	DF _n , DF _d	1.000, 4.000	1.000, 4.000	
16	P value	0.0004	0.0150	
17	Deviation from zero?	Significant	Significant	
18	Data			
19	Number of X values	6	6	
20	Maximum number of Y replicates	1	1	
21	Total number of values	6	6	
22	Number of missing values	6	6	
23				
24				
25				
26				

Figura 9: Número de flores totales en función del índice de estrés para el híbrido DK72-10 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-430.7 ± 124.7	-215.5 ± 68.23
3	Y-intercept when X=0.0	755.5 ± 22.98	806.7 ± 9.171
4	X-intercept when Y=0.0	1.754	3.744
5	1/slope	-0.002322	-0.004641
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-776.9 to -84.42	-404.9 to -26.09
8	Y-intercept when X=0.0	691.7 to 819.2	781.2 to 832.1
9	X-intercept when Y=0.0	1.039 to 8.312	2.041 to 30.16
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.7488	0.7138
12	Sy.x	30.00	13.81
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	11.92	9.975
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000
16	P value	0.0260	0.0342
17	Deviation from zero?	Significant	Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			

Are the slopes equal?
 $F = 2.03585$. $DFn=1$ $DFd=8$
 $P=0.1915$

If the overall slopes were identical, there is a 19% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not significant.

Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -341.488

Are the elevations or intercepts equal?
 $F = 26.2563$. $DFn=1$ $DFd=9$
 $P=0.0004837$

If the overall elevations were identical, there is a 0.048% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are extremely significant.

Figura 10: Número de flores desarrolladas en función del índice de estrés para el híbrido DK72-10 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-432.0 ± 105.6	-235.1 ± 62.25
3	Y-intercept when X=0.0	731.4 ± 19.45	784.7 ± 8.368
4	X-intercept when Y=0.0	1.693	3.338
5	1/slope	-0.002315	-0.004254
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-725.0 to -138.9	-407.9 to -62.24
8	Y-intercept when X=0.0	677.4 to 785.4	761.5 to 807.9
9	X-intercept when Y=0.0	1.070 to 4.937	1.968 to 12.31
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.8072	0.7809
12	Sy.x	25.39	12.60
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	16.75	14.26
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000
16	P value	0.0149	0.0195
17	Deviation from zero?	Significant	Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?
F = 2.31486. DFn=1 DFd=8
P=0.1666

If the overall slopes were identical, there is a 17% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not significant.

Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -350.376

Are the elevations or intercepts equal?
F = 37.1086. DFn=1 DFd=9
P=0.0001811

If the overall elevations were identical, there is a 0.018% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are extremely significant.

Figura 11: Número de estigmas emergidos en función del índice de estrés para el híbrido DK72-10 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear req. Tabular results		A	B
		N0	N200
		Y	Y
1	Best-fit values		
2	Slope	-405.9 ± 54.32	-193.7 ± 93.74
3	Y-intercept when X=0.0	590.7 ± 10.01	617.3 ± 12.60
4	X-intercept when Y=0.0	1.455	3.186
5	1/slope	-0.002464	-0.005162
6	95% Confidence Intervals		
7	Slope	-556.7 to -255.1	-453.9 to 66.48
8	Y-intercept when X=0.0	562.9 to 618.5	582.3 to 652.2
9	X-intercept when Y=0.0	1.102 to 2.225	1.419 to +infinity
10	Goodness of Fit		
11	r ²	0.9331	0.5164
12	Sy.x	13.07	18.97
13	Is slope significantly non-zero?		
14	F	55.83	4.272
15	DFn, DFd	1,000, 4,000	1,000, 4,000
16	P value	0.0017	0.1076
17	Deviation from zero?	Significant	Not Significant
18	Data		
19	Number of X values	6	6
20	Maximum number of Y replicates	1	1
21	Total number of values	6	6
22	Number of missing values	6	6
23			
24			
25			
26			

Are the slopes equal?

F = 4.06781. DF_n=1 DF_d=8
P=0.07844

If the overall slopes were identical, there is a 7.8% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not quite significant.

Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -317.954

Are the elevations or intercepts equal?

F = 22.4023. DF_n=1 DF_d=9
P=0.001069

If the overall elevations were identical, there is a 0.11% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are very significant.

Figura 12: Número de granos fijados en función del índice de estrés para el híbrido DK72-10 en ambos niveles de N y test de pendientes y ordenadas al origen.

Linear reg. Tabular results		A	B	
		N0	N200	
		Y	Y	
1	Best-fit values			
2	Slope	-743.2 ± 121.5	-698.3 ± 91.71	If the overall slopes were identical, there is a 78% chance of randomly choosing data points with slopes this different. You can conclude that the differences between the slopes are not significant.
3	Y-intercept when X=0.0	521.8 ± 22.38	559.4 ± 12.33	
4	X-intercept when Y=0.0	0.7022	0.8012	Since the slopes are not significantly different, it is possible to calculate one slope for all the data. The pooled slope equals -724.56
5	1/slope	-0.001346	-0.001432	
6	95% Confidence Intervals			
7	Slope	-1080 to -406.0	-952.8 to -443.7	
8	Y-intercept when X=0.0	459.7 to 584.0	525.2 to 593.7	<u>Are the elevations or intercepts equal?</u>
9	X-intercept when Y=0.0	0.5277 to 1.160	0.6137 to 1.202	F = 9.72299. DFn=1 DFd=9 P=0.01235
10	Goodness of Fit			
11	r ²	0.9035	0.9354	If the overall elevations were identical, there is a 1.2% chance of randomly choosing data points with elevations this different. You can conclude that the differences between the elevations are significant.
12	Sy.x	29.22	18.56	
13	Is slope significantly non-zero?			
14	F	37.43	57.96	
15	DFn, DFd	1.000, 4.000	1.000, 4.000	
16	P value	0.0036	0.0016	
17	Deviation from zero?	Significant	Significant	
18	Data			
19	Number of X values	6	6	
20	Maximum number of Y replicates	1	1	
21	Total number of values	6	6	
22	Number of missing values	6	6	
23				
24				
25				
26				