

“RESPUESTA de DOS HÍBRIDOS DE SORGO GRANÍFERO [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] a la FERTILIZACIÓN NITROGENADA y AZUFRADA”

Trabajo final de grado
del alumno

JUAN ESTEBAN PICO

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

INGENIERO AGRÓNOMO

Carrera: Ingeniería Agronómica

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

Pergamino,.....

II

“RESPUESTA de DOS HÍBRIDOS DE SORGO GRANÍFERO [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] a la FERTILIZACIÓN NITROGENADA y AZUFRADA”

Trabajo final de grado
del alumno

JUAN ESTEBAN PICO

Aprobada por el Tribunal Evaluador de Tesina

Ing. Agr. MSc. Lorea, Roberto (INTA Pergamino/UNNOBA).
Ing. Agr. MSc. Ferrari, Manuel (INTA Pergamino/UNNOBA).
Ing. Agr. MSc. Guillén, Roque (Dow Agrosiences/UNNOBA).

Director: Ing. Agr. MSc. González, Néstor Camilo
(INTA Pergamino/UNNOBA)

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

Pergamino,.....

III

Fecha de defensa del trabajo final:

IV

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud y aprecio a todos los que formaron parte de mi vida durante el desarrollo de mi carrera universitaria y en especial a aquellos que de una manera u otra me acompañaron para la culminación de este trabajo. “A toda mi familia por su apoyo incondicional en todos los aspectos de la vida, principalmente a mis padres por la educación que me brindaron, a mis hermanos por fortalecerme, a mis sobrinos porque los amo, a mis hijos, porque iluminan mi mundo y a Camila, mi compañera en esta vida, guardiana de mi alma por brindarme su amor incondicional”. “A mis profesores por dejar su impronta en cada materia con justa rigurosidad académica, Juan Carlos Suárez, Guillermo Pratta, Roberto Lorea, Omar Scheneiter, Juan Annone, Sergio Cepeda, Nicolás Iannone, Manuel Ferrari, Andrés Llovet, Angel Patitucci, Gustavo Magra, Carlos Senigagliesi, Oscar Bertín, Jonatan Camarasa, Raúl Rossi, Edith Frutos”. “A mis compañeros de estudio por compartir conmigo una parte importante de sus vidas, Lucho, Pedro, Eugenio, Barri, Matías, Pica, Lu, Pinky, Lucas, Miguel, San, Marian, Rita, Poly, Ana”. “A mis compañeros de trabajo y mis supervisores por depositar su confianza y aliento para mi desarrollo académico y profesional, Matías, Juani, Hugo, Caro, Santi, Germán, Juan Manuel”. “A mi director en este trabajo por su apoyo constante, generosidad y buena predisposición académica, laboral y humana. Gracias Néstor!”. “A Catalina Améndola y Leo Balestro por su generosa y desinteresada colaboración en los análisis estadísticos y por su calidez humana”. “Al INTA por proveerme de todo el material físico y humano necesario para la confección de este trabajo, a Gustavo Ferraris, a Iris por

V

facilitarme material de consulta siempre con gran amabilidad, a Silvia por brindarme los datos agrometeorológicos con ligereza, predisposición y buena voluntad”. “A Rinaldo Juan Gosparini por haber depositado su fé y su confianza en mi desarrollo profesional”. “A la UNNOBA y todos los que la conforman, por ser la casa de altos estudios formadora de profesionales, de personas, camaradería, amistad, confianza y excelencia; semilla del conocimiento y el desarrollo regional”.

Por la valiosa cercanía, consejos y palabras que he recibido de todos.

Gracias!

VI

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
1.1. Zonas sorgueras y rendimientos en Argentina.....	1
1.2. La fertilidad como factor limitante en la Región Pampeana.....	2
1.3. Potencialidad de rendimiento.....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
2. Materiales y métodos.....	6
2.1. Implantación del ensayo y características de los híbridos utilizados.....	6
2.2. Diseño experimental y tratamientos.....	6
2.3. Muestreos y metodología de fertilización.....	8
2.4. Análisis estadísticos.....	11
3. Resultados y discusión.....	12
3.1. Comprobación de los supuestos del modelo estadístico.....	12
3.2. Análisis de suelo.....	15
3.3. Datos climáticos durante el período del cultivo.....	16
3.4. Efecto de los híbridos sobre el rendimiento, el número de granos por metro cuadrado	17
3.5. Efecto del fertilizante sobre el rendimiento, el número de granos por metro cuadrado.....	18
3.6. Número de granos por metro cuadrado como variable explicativa del rendimiento.....	20
3.7. Efectos del fertilizante sobre el número de granos por panoja, el peso de las panojas y otras variables de planta.....	22
3.8. Relación entre el rendimiento relativo del cultivo y el nitrógeno disponible	24

VII

3.9. Relación entre el rendimiento de grano del cultivo y el nitrógeno disponible.....	25
4. Conclusiones	28
5. Bibliografía	29
ANEXO I	32
ANEXO II	33
ANEXO III	41
ANEXO IV	44

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Zonas sorgueras y rendimientos en Argentina

En nuestro país, el sorgo dispone de una amplia zona ecológica apta para su cultivo que se extiende aproximadamente entre los 22° y los 40° de latitud sur y está delimitada hacia el oeste por la isohieta de 500 mm de precipitación anual. El límite austral del cultivo estaría dado por un período libre de heladas de 180 días y la isoterma anual de 14°C (Giorda, 1997). De acuerdo a la zonas de producción, los rendimientos medios de sorgo granífero pueden oscilar entre 4.068 kg/ha (Cortés *et al.*, 2012) y 8.384 kg/ha (Díaz *et al.*, 2012) en San Francisco (Córdoba) y Paraná (Entre Ríos), respectivamente. Los rendimientos máximos en estas zonas fueron alcanzados por híbridos de ciclo largo e intermedio-largo, con valores de aproximadamente 5.574 kg/ha (Cortés *et al.*, 2012) y 11.607 kg/ha (Díaz *et al.*, 2012) para cada una de las zonas mencionadas, respectivamente. La productividad alcanzada por el sorgo granífero depende en gran medida del potencial de rendimiento *per se* del híbrido seleccionado al momento de la siembra, la duración del ciclo, y la performance de éste en el ambiente particular donde se desarrollare el cultivo. Los híbridos de ciclo largo rinden más que los de ciclo corto, ya que acumulan mayor cantidad de materia seca al momento de floración y poseen mayor duración del área foliar verde post-floración (Díaz *et al.*, 2005). Asimismo, ante situaciones de estrés por nitrógeno, los genotipos de ciclo largo tendrían una mayor habilidad para removilizar los asimilados, previamente acumulados en tallos y hojas, hacia los granos durante el período de llenado (Díaz *et al.*, 2005).

1.2. La fertilidad como factor limitante en la Región Pampeana

En la Región Pampeana argentina, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) limitan los rendimientos en grado variable según su disponibilidad en el suelo, tipo de cultivo, nivel de rendimiento y condiciones ambientales de la campaña (Ferraris *et al.*, 2013c). La menor fertilidad de los suelos donde generalmente se cultiva el sorgo es un factor limitante principal de la productividad. Por ésto, los niveles de fertilización recomendados deben ser acordes a los rendimientos esperados para un lote particular. Por otro lado, esos niveles de fertilización deberían ser también ajustados al comportamiento de un genotipo específico en un ambiente determinado. Sin embargo, este enfoque racional no siempre es considerado de manera conjunta por el productor.

Varios trabajos ahondan en la temática de la fertilización del cultivo de sorgo (Ferraris, *et al.*, 2012, 2013c; De Battista *et al.*, 2010; Zamora *et al.*, 2010a). En ellos se reporta una tendencia al aumento del rendimiento de grano y de la biomasa de la planta entera ante la fertilización (Fontanetto *et al.*, 2008; Ferraris *et al.*, 2012, 2013a; Ventimiglia, y Torrens Baudrix, 2013; Rey y Torrecillas, 2012). Sin embargo, suele también ocurrir que debido a altos contenidos de nitrógeno en el suelo la respuesta a este nutriente en el cultivo de sorgo sea inexistente. El nivel de nitrógeno de nitratos (N-NO_3^-) en el suelo tiene un gran impacto sobre el resultado final de la producción de sorgo. La dotación inicial de N-NO_3^- está íntimamente ligada al cultivo antecesor y a la duración del período de barbecho que cada antecesor permite, siendo óptima en una pastura degradada, seguido por la soja, el maíz de segunda y, por último, la avena (Fontanetto *et al.*, 2008). Además, se han encontrado diferencias agronómicas (aunque no estadísticamente

significativas) en el rendimiento de sorgo ante el agregado de azufre en conjunto con dosis bajas y altas de nitrógeno del orden de los 583 y 459 kg/ha, respectivamente (Ferraris *et al.*, 2013a). Asimismo, se ha observado que la aplicación de azufre mejoró la respuesta del cultivo tanto en dosis bajas, medias y altas de nitrógeno, sin diferencias significativas entre dosis de 10 y 20 kg S/ha (Fontanetto *et al.*, 2010). También se ha encontrado que la respuesta al azufre sin el agregado de nitrógeno es prácticamente nula, demostrando que una deficiencia de nitrógeno limitaría la expresión de la respuesta a la fertilización azufrada (Fontanetto *et al.*, 2010). En otros experimentos, en cambio, se observaron muy buenas respuestas del cultivo al fertilizante nitrogenado, aunque un nulo efecto del azufre (Zamora *et al.*, 2010a). Se ha demostrado claramente en muchos ensayos de fertilización, que la respuesta en rendimiento por efecto del nitrógeno es superior a la respuesta a azufre (Ferraris *et al.*, 2012; 2013a; 2013b; 2013c). Adicionalmente, en un ensayo de fertilización nitrogenada y azufrada Fontanetto *et al.* (2010) observaron efectos significativos de la fertilización no sólo sobre el rendimiento de granos sino también sobre algunos de sus componentes: peso de cada panoja, número de granos por panoja y número de granos por metro cuadrado. La fertilización no afectó el número de panojas por hectárea, el peso de 1000 granos ni la humedad de granos a cosecha.

1.3. Potencialidad de rendimiento

Dentro de la oferta comercial, podemos encontrar híbridos con distinto potencial de rendimiento para cada zona productiva. En este sentido, la adaptabilidad y la estabilidad son factores que influyen en el logro del rendimiento

potencial. Se han determinado diferencias en rendimiento como respuesta a dosis extremas de fertilización nitrogenada en híbridos de sorgo de diferente ciclo (Díaz *et al.*, 2005). Pero debido a que en el país el sorgo es un cultivo de relativo menor interés que el maíz, existe menor información de ensayos ambientales para el abanico de híbridos disponibles en el mercado argentino respecto al maíz. Por otro lado, Ventimiglia y Torrens Baudrix (2013) concluyen que es posible que los nuevos híbridos de sorgo granífero que están apareciendo en el mercado tengan mejor potencial de rendimiento, por lo que nuevos ensayos podrían dilucidar mejor la eficiencia productiva del sorgo comparada a la del maíz.

Por lo expuesto, en este trabajo se propone evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada y azufrada en dos híbridos de sorgo granífero con similar duración de ciclo y con distinto potencial de rendimiento en un lote de productividad media a alta. En este sentido, si bien existen varios estudios con información relevante sobre diagnóstico de fertilidad (Ferrari *et al.*, 2012; Barbagelata *et al.*, 2014), nutrición del cultivo (Fontanetto *et al.*, 2008, 2010), y absorción y extracción de macro y micronutrientes por parte del sorgo (Ciampitti y García, 2007), la respuesta de distintos híbridos a la fertilización es un aspecto que ha sido menos investigado (Díaz *et al.*, 2005; Rey y Torrecillas, 2012) y del cual no se dispone de mucha información para la zona de Pergamino.

En este trabajo se plantean las siguientes hipótesis y objetivos:

1.4. Hipótesis

Hipótesis 1: La respuesta en rendimiento de distintos híbridos de sorgo granífero frente a la fertilización será positiva, y la magnitud de la respuesta variará de acuerdo a la potencialidad de rendimiento del híbrido.

Hipótesis 2: El híbrido de mayor potencial de rendimiento alcanzará su óptimo físico con dosis más elevadas de fertilizantes que el híbrido de menor potencial, si las condiciones ambientales son favorables.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento en grano y sus componentes en dos híbridos de sorgo granífero de ciclo similar y diferente potencial productivo fertilizados con distintos niveles de fertilizantes nitrogenado y azufrado.

1.5.2. Objetivos específicos

Analizar la interacción entre híbridos de ciclo similar pero distinto potencial de rendimiento y distintas dosis de fertilizantes en un ambiente de productividad determinado.

Estudiar la respuesta en rendimiento de dos híbridos de duración de ciclo intermedia y distinto potencial productivo a distintas dosis de fertilización nitrogenada.

Evaluar el efecto de la fertilización azufrada en combinación con dosis contrastantes de nitrógeno sobre el rendimiento de sorgo granífero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Implantación del ensayo y características de los híbridos utilizados

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Pergamino. El suelo del sitio experimental es un Argiudol típico, Serie Pergamino, fase ligeramente erosionada (Capacidad de uso: I-1/2). El lote tenía al menos 8 años de agricultura continua, donde predominó la siembra directa y el cultivo antecesor fue soja. El sorgo fue implantado el 15 de noviembre de 2009 bajo el sistema de siembra directa, utilizando una sembradora FANKHAUSER de grano fino. La profundidad de siembra fue menor a 5 cm. La densidad empleada fue de 300.000 semillas/ha, con un distanciamiento entre hileras de 48 cm. Para el control de malezas se aplicaron 2,5 l/ha de glifosato (48%) y 3 l/ha de atrazina (50%) en pre-siembra.

Los híbridos utilizados fueron AD-80STA y 09AD18*RT11 (desde ahora AD18*RT11). El híbrido AD-80STA se caracteriza por su alta estabilidad, pero posee menor potencial de rendimiento que el híbrido AD18*RT11. Por el contrario, el material AD18*RT11 es menos estable pero de mayor potencial productivo.

2.2. Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones. Los híbridos (H) se ubicaron en la parcela principal, y los tipos y dosis de fertilizante (F) en las subparcelas. Así, los tratamientos consistieron en la combinación de dos híbridos (AD18*RT11, de alto potencial, y AD-80STA, de bajo potencial), cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 40, 80 y 120 kg N/ha) y dos niveles de fertilización azufrada (0 y 15 kg S/ha); esta última sólo junto a dosis

contrastantes de N (40 y 120 kg N/ha). Todos los tratamientos se resumen en la Tabla 1, y el plano de campo se muestra en la Figura 1.

Tabla 1. Tratamientos asignados.

Tratamiento	Híbrido	Dosis N (kg/ha)	Dosis S (kg/ha)
1	AD18*RT11 (Alto potencial)	0	0
2	AD18*RT11 (Alto potencial)	40	0
3	AD18*RT11 (Alto potencial)	80	0
4	AD18*RT11 (Alto potencial)	120	0
5	AD18*RT11 (Alto potencial)	40	15
6	AD18*RT11 (Alto potencial)	120	15
7	AD-80STA (Bajo potencial)	0	0
8	AD-80STA (Bajo potencial)	40	0
9	AD-80STA (Bajo potencial)	80	0
10	AD-80STA (Bajo potencial)	120	0
11	AD-80STA (Bajo potencial)	40	15
12	AD-80STA (Bajo potencial)	120	15

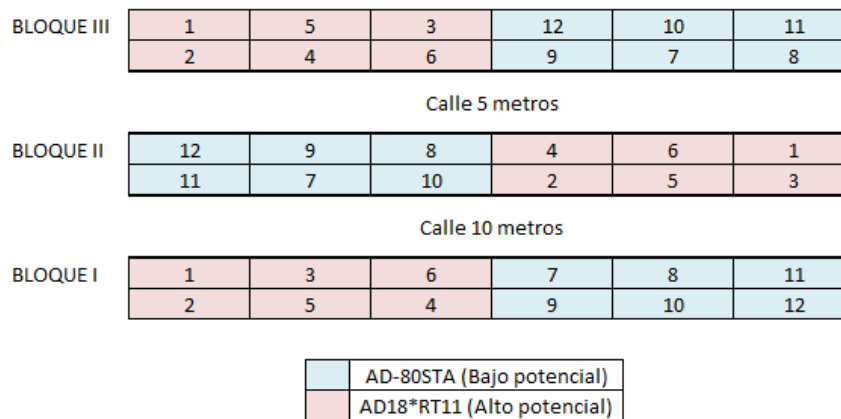


Figura 1. Plano de campo del experimento.

El tamaño de la unidad experimental (subparcela) fue de 12 m² (5 surcos de 5 m de largo con un espaciamiento entre hileras de 48 cm).

2.3. Muestreos y metodología de fertilización

En post-emergencia del cultivo, el día 4 de diciembre de 2009 se obtuvieron dos muestras compuestas de suelo de todo el ensayo cuando el cultivo tenía 5 hojas expandidas aproximadamente. La primera de 0 a 20 cm y la segunda de 20 a 40 cm de profundidad. Todo el ensayo se fertilizó con una dosis alta de P (200 kg/ha de Superfosfato triple) para que no existiera deficiencia alguna que limite la potencialidad de respuesta al N y al S. El momento de aplicación fue en V6 al voleo en conjunto con los tratamientos previo a la obtención de los resultados de los análisis de suelo.

Para los tratamientos de fertilización, se utilizó urea como fuente de N, y yeso agrícola como fuente de S. El nitrógeno de nitratos (N-NO_3^-) en el suelo de 40 a 60 cm de profundidad se estimó en base a los datos obtenidos de 0-20 cm. Según la zona productiva los métodos de estimación de nitratos en profundidad varían, por ejemplo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana (Bono et al., 2007), así como en Entre Ríos el contenido de N-NO_3^- determinado, considerando la profundidad de muestreo de 0 a 0,6 m, se asoció estrechamente ($R^2= 0,72$, $p<0,001$) con el contenido de N-NO_3^- en la capa de 0 a 0,2 m (Barbagelata et al., 2014), resultados similares a los anteriormente informados por Melchiori y Barbagelata 2002. A los fines prácticos del presente Trabajo Final de Grado (TFG) se estimó la disponibilidad del N-NO_3^- de 40 a 60 cm de profundidad, como el 50% del disponible en la capa superior, pero se remarca que este no es un método universal para todos los tipos de suelo. El N disponible (N_d) se calculó como la suma del nitrógeno de nitratos en el suelo a 60 cm de profundidad (N_s) más el N del fertilizante aplicado (N_f). Para el cálculo de N_s en kg/ha de N-NO_3^- se utilizaron valores medios de densidad aparente según la profundidad del suelo. Se remarca que para la serie Pergamino es preciso utilizar valores de $1,20 \text{ g/cm}^3$ para la primer capa de suelo que va de 0-20 cm, $1,3 \text{ g/cm}^3$ para el espesor de 20-40 cm y valores de $1,4 \text{ g/cm}^3$ para el espesor de 40-60 cm.

Poco después de la aplicación de los fertilizantes (estadio fenológico: V7), se obtuvieron muestras de planta de 1 m^2 por parcela para determinar la altura y peso fresco de la parte aérea. No se determinó peso seco, lo cuál hubiese sido un indicador mucho más confiable de la biomasa acumulada para independizar el contenido de humedad, por falta del recurso estufa y falta del recurso tiempo, por

lo que estas apreciaciones se presentan solo como parte ilustrativa para acompañar el TFG y no deben ser tenidas en cuenta como referencia de un trabajo científico. En madurez del cultivo, se realizó un segundo muestreo, en este caso de 0,5 m² por parcela, para medir la altura promedio de las plantas, el peso fresco de la parte aérea de la planta y el peso fresco de panojas. Al igual que los primeros, estos datos no se llevaron a estufa por los motivos anteriormente aclarados. Con los datos obtenidos en el primero y segundo muestreos se determinó la variación porcentual en la altura. El incremento porcentual en el peso fresco de las parte aérea de las plantas fué calculado pero carece de sentido mostrar los resultados, ya que el peso seco es un indicador mas confiable. Por último, para determinar el rendimiento de grano, en madurez del cultivo se cosecharon todas las panojas en un sector de 2 m² por parcela, y posteriormente se desgranaron las panojas con una trilladora estática experimental Pullman. A las muestras de grano obtenidas se les determinó el peso y se les midió la humedad . El peso de las muestras fue luego ajustado a 14% de humedad. Con una contadora de granos por vibración se determinó el número de granos para cada tratamiento, se hizo una muestra de 250 granos por sub-parcela la cual se pesó para estimar el peso de mil granos. Con los datos de rendimiento de las sub-parcelas y el peso de mil granos se estimó el número de granos/m². También se contó el número de panojas cosechadas por subparcela y, en base a este dato, se estimó el número de granos por panoja.

2.4. Análisis estadísticos

Los datos se analizaron mediante análisis de la varianza empleando el programa INFOSTAT (Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>). La comparación entre medias se realizó utilizando el test de Tukey con un alfa de 0,05%. El modelo empleado para evaluar los efectos de los híbridos, de los fertilizantes, y de la interacción entre ellos fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + T_k + (MT)_{ik} + \delta_{ijk} \quad (\text{Modelo de parcelas divididas})$$

Aquí, μ representa la media general del ensayo, M los tratamientos de parcelas principales (Híbridos), β los bloques, ε el error de la parcela principal, T los tratamientos de las subparcelas (Fertilizantes), MT la interacción, y δ el error de la subparcela. Para determinar los efectos del azufre en conjunto con el nitrógeno se hicieron contrastes entre los tratamientos que poseen igual dosis de N y distinta dosis de S.

Para determinar el nivel crítico de la oferta de Nd se utilizó el método gráfico de Cate y Nelson (1965) fijándose un RR crítico de 0,95. Para el análisis conjunto de las respuestas a N obtenidas, los rendimientos medios de los tratamientos fueron expresados como Rendimiento Relativo (RR), dividiendo su valor por el rendimiento medio alcanzado por el tratamiento N120 S0 para cada híbrido.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comprobación de los supuestos del modelo estadístico

La validez de las estimaciones y pruebas de hipótesis para los análisis derivados del modelo se apoya en los valores de varias suposiciones clave. Se supone que los errores experimentales aleatorios son independientes, siguen una distribución normal con una media igual a cero, y tienen varianza común para todos los grupos de tratamiento. Los residuales observados proporcionan evaluaciones visuales de las suposiciones del análisis de varianza. La suposición de independencia de errores se evaluó mediante un gráfico de los residuales versus la variable rendimiento (Figura 2). La inexistencia de una tendencia a tener agrupados residuos positivos y/o negativos indica que no hay correlación alguna o falta de independencia. Esto denota un buen proceso de aleatorización que asegura el cumplimiento del supuesto de independencia para el set de datos analizados.

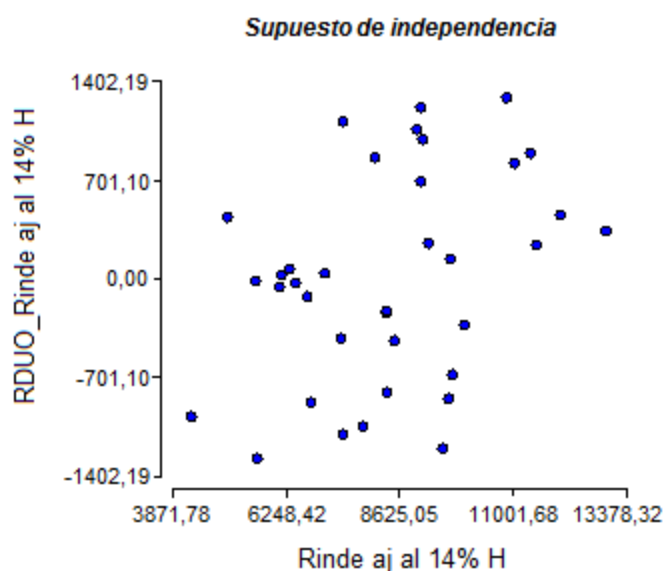


Figura 2. Residuales en función de la variable rendimiento para el análisis de parcelas divididas.

Para evaluar el supuesto de normalidad se realizó un gráfico QQplot. Mediante esta técnica se obtiene un diagrama de dispersión de los residuos obtenidos versus los cuantiles teóricos de una distribución normal (Figura 3). Se puede observar que los residuos son normales y no hay otros defectos del modelo, pues los mismos se alinean muy bien sobre una recta a 45° en el set de datos estudiado.

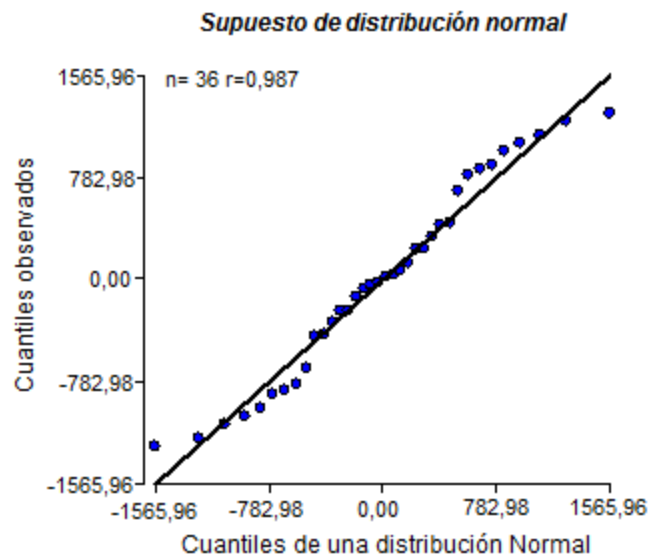


Figura 3. QQplot de la variable rendimiento para el análisis de parcelas divididas.

Por último, el supuesto de homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) fue evaluado a través de un diagrama de dispersión de residuos versus predichos (Figura 4). En el mismo se ve una nube de puntos carente de tendencia, por lo que tampoco hay incumplimiento de este supuesto en el set de datos en estudio.

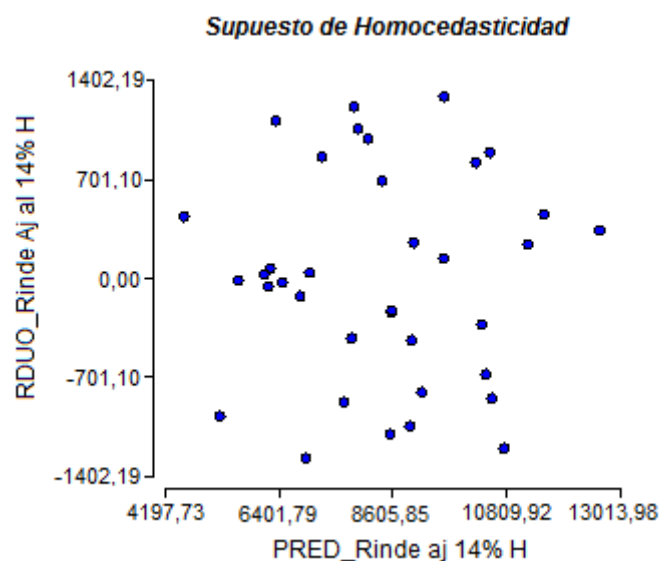


Figura 4. Residuales en función de los predichos de la variable rendimiento para el análisis de parcelas divididas.

La normalidad de los datos fue también probada por medio del test de Shapiro-Wilks modificado en INFOSTAT para las variables rendimiento, número de granos/m² y peso de mil granos. Para probar si las variables en estudio tienen distribución normal se plantearon las siguientes hipótesis: H0: las observaciones tienen distribución normal y H1: las observaciones no tienen distribución normal. Para las variables rendimiento y número de granos/m² hay evidencias para rechazar la hipótesis nula, ya que para ambas el test arrojó resultados no significativos ($p > 0,05$; ver Anexo I). Se asume entonces que las observaciones evaluadas tienen una distribución normal. En cambio, para la variable peso de mil granos no existen evidencias significativas para rechazar la hipótesis nula.

3.2. Análisis de suelo

El análisis del suelo del sitio experimental indicó un pH fuertemente ácido, conductividad eléctrica baja, pobremente provisto de carbono orgánico, y muy bien provisto de fósforo extractable en los primeros centímetros de suelo (0-20 cm). Los niveles de nitrógeno de nitratos fueron deficientes tanto en la capa superficial (0-20 cm) como en la subsuperficial (20-40 cm) (Tabla 2).. La respuesta positiva a la fertilización nitrogenada fue favorecida por la deficiencia inicial de este nutriente en el suelo. Los métodos de laboratorio utilizados para realizar el análisis de suelo se resumen en la Tabla 3.

El sitio experimental ocupa lomas ligeramente onduladas, bien drenadas, con pendientes entre 0,5 y 1%. La capa arable presenta escaso peligro de erosión provocada por las precipitaciones, por lo que se asume que el P aplicado superficialmente no sufrió pérdidas por escorrentía.

Tabla 2. Resultados del análisis de suelo del sitio experimental (Laboratorio de la EEA INTA Pergamino, 2009).

Profundidad (cm)	0-20	20-40
pH Agua (1:2,5)	5,3	
CE (dS/m)	0,06	
C (g/kg)	13,3	
Pe (mg/kg)	30,3	
N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	6	5

Tabla 3. Métodos de laboratorio utilizados para el análisis de suelo.

Propiedad	Denominación	Método
pH	pH actual	Potenciométrico, Suelo/Agua 1:2,5
CE	Conductividad eléctrica del suelo	Potenciométrico, Suelo/Agua 1:2,5
C	Carbono orgánico	Combustión húmeda
Pe	P extractable	ph < 7 Bray y Kurtz N°1; pH > 7 Olsen
N-NO ₃ ⁻	N de nitratos	Ácido fenoldisulfónico

3.3. Datos climáticos durante el período del cultivo

Es importante recalcar que las abundantes precipitaciones registradas a finales de 2009 tuvieron un fuerte impacto en el desarrollo del cultivo, motivando un gran crecimiento de las plantas. Durante el mes de noviembre, las lluvias superaron a la media histórica local por 94 mm, mientras que en el mes de diciembre la media local fue superada por 237 mm. En cierta medida, las altas precipitaciones mencionadas podrían haber promovido la lixiviación de nitratos, ya que a pesar de que la fertilización al voleo en V6 fue realizada a fines de diciembre, las precipitaciones siguieron siendo elevadas durante enero (42 mm por encima de la media local) y febrero (107,5 mm por encima de la media local) de 2010. Los promedios mensuales de precipitaciones se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Precipitaciones promedio mensuales de la campaña 2009-2010 y de la serie histórica en Pergamino.

Mes	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Promedio mensual 2009-2010 (mm)	196	343	151	215	35	60
Promedio histórico 1910-2014 (mm)	102	106	109	108	124	97

Fuente: Datos registrados en la E.E.A.A Pergamino.

En cuanto a las temperaturas registradas durante el ciclo del cultivo, los promedios de temperaturas máximas, mínimas y medias se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Temperaturas promedio mensuales máximas, mínimas y medias durante la campaña 2009-2010 en Pergamino.

Mes	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Temperatura máxima (°C)	26,6	28,0	30,9	27,5	28,7	22,8
Temperatura mínima (°C)	14,3	16,0	17,0	17,3	13,9	8,2
Temperatura media (°C)	20,4	22,0	23,9	22,4	21,3	15,5

Fuente: E.E.A.A Pergamino

3.4. Efecto de los híbridos sobre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado.

Se realizó un análisis de la varianza bajo el modelo propuesto. No se detectó interacción significativa ($p > 0,05$) Híbrido*Fertilizante para ninguna de las dos variables estudiadas (rendimiento y número de granos por metro cuadrado; ver Anexo II). Sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas de rendimiento entre los dos híbridos evaluados ($p: 0,0098$). El híbrido de mayor potencial de rendimiento (AD18*RT11) superó siempre al de menor potencial (AD-80STA), hecho que fue favorecido por la gran cantidad de precipitaciones ocurridas durante el ciclo (Tabla 6). Este distinto comportamiento observado entre los materiales estuvo marcadamente influenciado por el incremento diferencial de rendimiento que mostraron los tratamientos con azufre. La mayor diferencia en rendimiento entre los dos híbridos debida al agregado de S se produjo a baja dosis

de N (+3057,8 kg/ha), aunque para la dosis alta de N la diferencia a favor de AD18*RT11 cuando se fertilizó con azufre fue igualmente importante (+2663,7 kg/ha).

Las diferencias entre híbridos para el número de granos por metro cuadrado fueron significativas ($p: 0,0318$). Esta variable siempre presentó mayores valores en el híbrido AD-80STA, excepto cuando la dosis de N fue de 40 kg/ha (Tabla 6).

3.5. Efecto de los fertilizantes sobre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado.

El rendimiento ($p: 0,0056$) y el número de granos por metro cuadrado ($p: 0,0042$) fueron afectados significativamente por los tratamientos de fertilización.

En conjunto con el análisis de varianza se realizaron contrastes entre los tratamientos de fertilizante que poseen igual dosis de N y diferente dosis de S. Las hipótesis planteadas para los contrastes fueron rechazadas para las dos variables estudiadas ($p > 0,5$; ver Anexo II). Es decir, tanto para el rendimiento como para el número de granos por metro cuadrado, el nivel alto de N sin S no difirió del nivel alto de N con S, y el nivel bajo de N sin S tampoco se diferenció del nivel bajo de N con S. Al igual que Ferraris *et al.* (2012, 2013a, 2013b, 2013c) y Zamora *et al.* (2010a), pero a diferencia de lo encontrado por Fontanetto *et al.* (2010), el azufre no mostró un efecto significativo sobre el rendimiento. Sin embargo, en el híbrido de mayor potencial, cuando a bajas dosis de nitrógeno se fertilizó con azufre, la diferencia entre los valores promedio de rendimiento con y sin S fue de 552 kg/ha. Tendencias similares han sido observadas en otros trabajos (Ferraris *et al.*,

2013a). Como complemento de este resultado, el plus en rendimiento mostrado por el tratamiento azufrado fue acompañado de un aumento promedio en el número de granos por metro cuadrado de un 12,7%. Contrariamente, en el híbrido de menor potencial, a bajas dosis de nitrógeno la diferencia promedio en rendimiento con y sin el agregado de S fue de sólo 113 kg/ha.

A dosis altas de nitrógeno, en el híbrido de mayor potencial se registró un incremento promedio de rendimiento de 219 kg/ha cuando se fertilizó con azufre; a diferencia de otros trabajos (Ferraris *et al.*, 2013a) donde se vieron rindes promedio de 459 kg/ha por agregado de las mismas dosis de S que las realizadas en este trabajo. En cambio, en el híbrido de menor potencial productivo la diferencia promedio en rendimiento fue negativa cuando se fertilizó con azufre con alta dosis de nitrógeno (-23 kg/ha).

Los valores promedio de las variables estudiadas para los híbridos y tratamientos de fertilización evaluados se encuentran resumidos en las Tabla 6a y 6b.

Tabla 6a. Efectos del híbrido y del tratamiento de fertilización sobre el rendimiento en el cultivo de sorgo en Pergamino en la campaña 2009-2010.

Dosis de Nitrógeno	Dosis de Azufre	Rinde AD-80STA	Rinde AD18*RT11	Promedios
(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
0	0	6122,00	6449,15	6285,58 B
40	0	6148,54	8766,28	7457,41 AB
40	15	6260,55	9318,37	7789,46 AB
80	0	8581,11	9398,82	8989,97 AB
120	0	8664,61	11072,61	9868,61 A
120	15	8626,93	11290,68	9958,81 A

Tabla 6b. Efectos del híbrido y del tratamiento de fertilización sobre el número de granos por metro cuadrado en el cultivo de sorgo en Pergamino en la campaña 2009-2010.

Dosis de Nitrógeno	Dosis de Azufre	N° granos/m ² AD-80STA	N° granos/m ² AD18*RT11	Promedios
(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
0	0	24152	18450	21301 C
40	0	23830	24534	24182 BC
40	15	24053	27643	25848 ABC
80	0	35150	26928	31039 AB
120	0	35303	32130	33716,5 AB
120	15	34884	33374	34129 A

3.6. Número de granos por metro cuadrado como variable explicativa del rendimiento

El número de granos por metro cuadrado fue la variable que mejor explicó el rendimiento. Las rectas de regresión entre rendimiento y número de granos por metro cuadrado mostraron una relación lineal significativa (ver Anexo III) entre las dos variables, con distintas ecuaciones y valores de R² cercanos a uno para ambos híbridos (Figura 5).

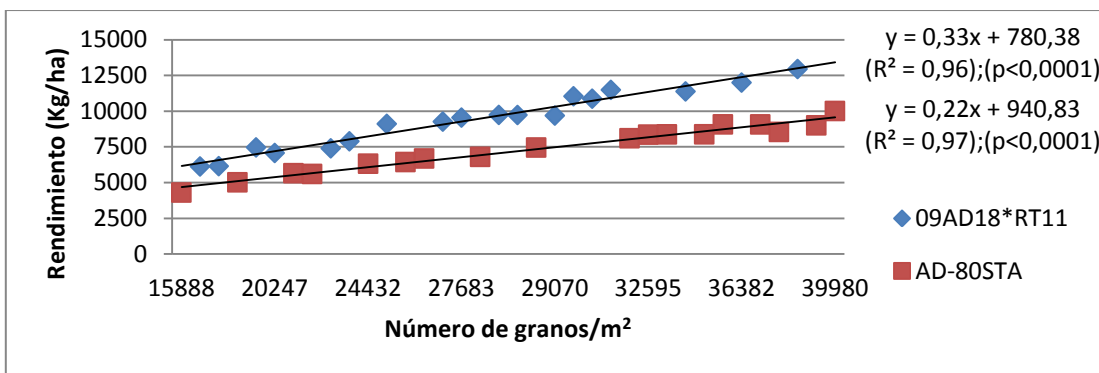


Figura 5. Relación entre el rendimiento de grano y el número de granos por metro cuadrado en dos híbridos de sorgo de distinto potencial de rendimiento en Pergamino en la campaña 2009-2010.

El híbrido AD18*RT11 alcanzó siempre mayores rendimientos que el híbrido de menor potencial productivo. Esta mejor performance del material de mayor potencial se explicaría por una mejor compensación en el peso de los granos ante menores valores en el número de granos por metro cuadrado.

La relación entre el rendimiento y el peso de los granos presentó una mayor dispersión de los datos con una tendencia negativa para ambos híbridos. El rendimiento fue menor a medida que el peso de mil granos aumentó (Figura 6). Este comportamiento fue igual para los dos híbridos evaluados, aunque con valores marcadamente distintos entre ambos. Sin embargo los datos de peso de mil granos no cumplen con el supuesto de normalidad, por lo que no se realizó el análisis estadístico correspondiente.

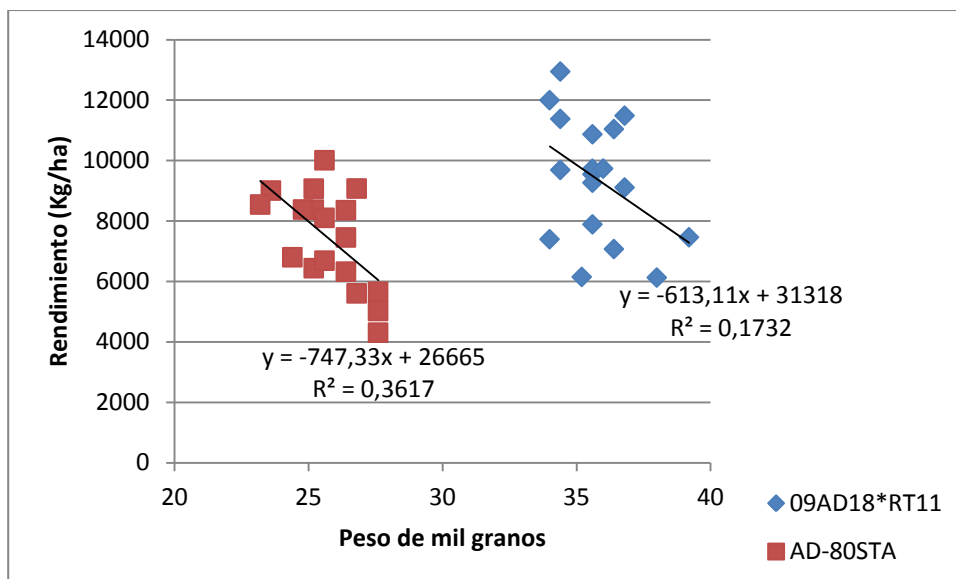


Figura 6. Relación entre el rendimiento de grano y el peso de mil granos en dos híbridos de sorgo de distinto potencial de rendimiento en Pergamino en la campaña 2009-2010.

3.7. Efectos del fertilizante sobre el número de granos por panoja, el peso de las panojas y otras variables de planta

No se encontró interacción significativa Híbrido*Fertilizante para el número de granos por panoja ($p: 0,4297$) ni tampoco para el peso de las panojas ($p: 0,4903$). Sí se detectaron diferencias significativas entre híbridos y también entre tratamientos de fertilizantes para ambas variables (ver Anexo II). El híbrido de menor potencial de rendimiento superó en número de granos por panoja al híbrido de mayor potencial en un 8,78% ($p: 0,0412$). Sin embargo, el menor peso de las panojas (-21,97%; $p: 0,0101$) limitó la posibilidad de alcanzar un mejor rendimiento que el híbrido de mayor potencial. Dentro de los tratamientos de fertilización, sólo la dosis de 120 kg N/ha con y sin S se diferenció del testigo, tanto en el número de granos por panoja como en el peso de las panojas. Estos resultados se asemejan

a los encontrados por Fontanetto *et al.* (2010), quienes observaron diferencias en el número de granos por panoja entre dosis de 80 kg N/ha y el tratamiento testigo.

Los valores promedio de peso de las panojas y de número de granos por panoja se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores promedio de peso de las panojas y de número de granos por panoja en el cultivo de sorgo en Pergamino en la campaña 2009-2010.

Híbrido	Dosis de Nitrógeno (kg/ha)	Dosis de Azufre (kg/ha)	Peso de panojas (g)	Número de granos/panoja
AD-80STA	0	0	21,0	805
	40	0	20,9	794
	40	15	21,4	802
	80	0	29,1	1172
	120	0	29,4	1177
	120	15	29,2	1163
AD18*RT1 1	0	0	22,4	615
	40	0	30,2	818
	40	15	32,0	921
	80	0	32,2	898
	120	0	38,0	1071
	120	15	38,6	1112

No se detectaron interacciones significativas ($p > 0,05$) Híbrido*Fertilizante para la variación porcentual en altura ni para el incremento relativo en el peso fresco de la parte aérea de la planta. Ninguna de estas dos variables fue afectada significativamente por el híbrido. La fertilización sólo impactó estadísticamente sobre el aumento de la altura de las plantas ($p: 0,0434$), siendo el tratamiento de 40 kg N/ha sin S el único que se diferenció del testigo sin fertilizantes (ver Anexo II).

Los valores promedio se sintetizan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores promedio de la variación porcentual en la altura en el cultivo de sorgo en Pergamino en la campaña 2009-2010.

Híbrido	Dosis de Nitrógeno (kg/ha)	Dosis de Azufre (kg/ha)	Variación en altura de planta (%)
AD-80STA	0	0	20,5
	40	0	3,8
	40	15	11,8
	80	0	9,7
	120	0	14,9
	120	15	10,3
AD18*RT11	0	0	14,2
	40	0	2,0
	40	15	0,9
	80	0	0,0
	120	0	3,6
	120	15	11,0

3.8. Relación entre el rendimiento relativo del cultivo y el nitrógeno disponible

En la Figura 7 se presenta la relación entre el rendimiento relativo de los tratamientos de fertilización con N solamente y la oferta de este nutriente para el cultivo. El análisis gráfico de los resultados permitió predecir la respuesta al N en base a un rango crítico ubicado aproximadamente entre los 116 y los 156 kg N/ha, cuyo valor medio (136 kg N/ha) podría ser considerado tentativamente como el nivel crítico. Sin embargo, es algo inferior (8 kg N/ha menos) al valor medio reportado por Ferrari *et al.* (2012) en Pergamino, aunque se ubica en el límite del rango crítico informado por dichos autores (aproximadamente, de 124 a 174 kg/N

ha). Asimismo, el nivel crítico medio hallado en el presente estudio es menor al valor de 156 kg N/ha encontrado por Ferraris *et al.* (2013c) en distintas localidades del norte de la provincia de Buenos Aires para alcanzar un rendimiento relativo a la dosis máxima de 0,95, y al de 154 kg N/ha obtenido por Barbagelata *et al.* (2014) en Entre Ríos.

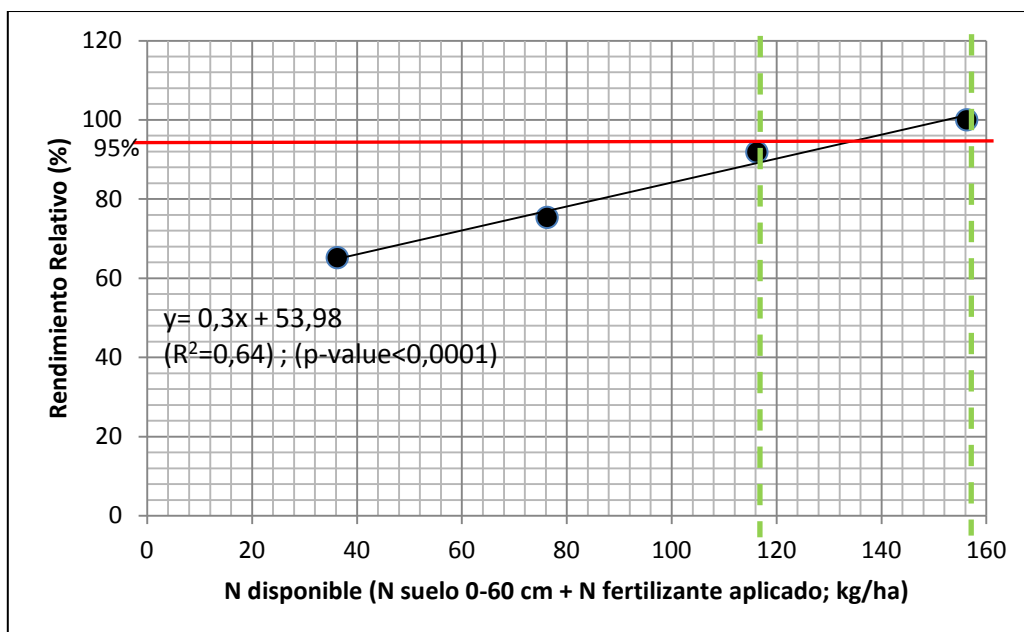


Figura 7. Relación entre el rendimiento relativo del cultivo de sorgo y la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) en Pergamino en la campaña 2009-2010.

3.9. Relación entre el rendimiento de grano del cultivo y el nitrógeno disponible

En promedio, el rendimiento de ambos híbridos para la dosis máxima de nitrógeno sin S fue 36% más alto que el de los testigos; para la dosis media de N, el mismo fue un 29% más elevado; y para la dosis baja, el aumento representó un 15% más de producción que la obtenida sin la aplicación de fertilizantes. El híbrido de mayor potencial alcanzó respuestas medias de rendimiento respecto al testigo de 2960 y 4650 kg/ha con la dosis de 80 y de 120 kg N/ha, respectivamente,

mientras que el híbrido de menor potencial productivo mostró diferencias con relación al testigo de 2395 y 2479 kg/ha, respectivamente, para las mismas dosis de nitrógeno. El incremento de rendimiento claramente superior que presentó el híbrido de mayor potencial con altas dosis de N quedó reflejado en la mayor pendiente de la recta de regresión del rendimiento en función del N disponible que mostró este material en comparación con el híbrido de menor potencial (Figura 8). Esto comprueba la primera hipótesis planteada en el presente trabajo.

La tendencia en la respuesta al Nd no pudo ser plenamente explorada debido a que no se contó con tratamientos de mayores dosis de N y a la baja dotación de N-NO_3^- que había en el suelo. Por lo tanto, esta limitación impidió arribar a una conclusión respecto a la validez de la segunda hipótesis del trabajo. Además no fue posible para ningún híbrido determinar el óptimo físico. El nivel crítico alcanzado para los dos híbridos fue de 136 Kg N/ha. Dicho umbral es muy similar al reportado por Fontanetto *et al.* (2008, 2010) en la zona central de Santa Fe, quienes encontraron que una oferta inicial de N cercana a los 130 kg N/ha posibilitó alcanzar rendimientos de sorgo de 8-10 t grano/ha.

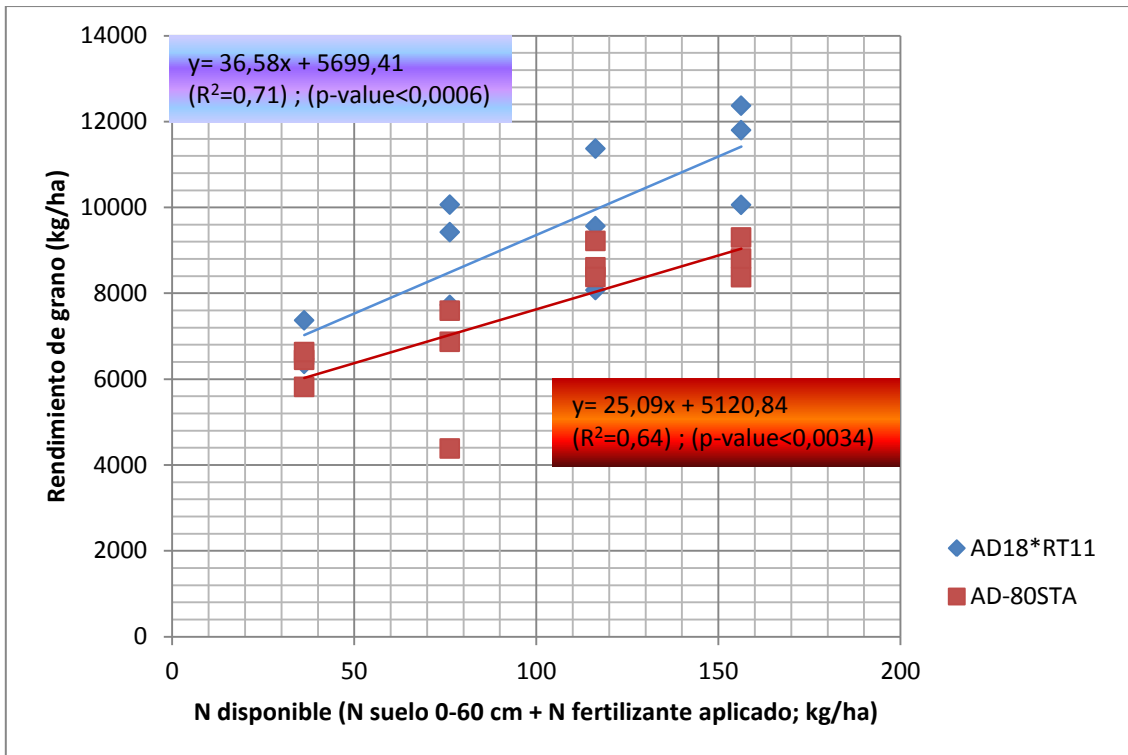


Figura 8. Relación entre los rendimientos de grano de dos híbridos de sorgo de distinto potencial productivo y la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) en Pergamino en la campaña 2009-2010

4. CONCLUSIONES

- El cultivo de sorgo respondió positivamente a la fertilización nitrogenada, observándose tendencias diferenciales de respuesta en híbridos con distinto potencial de rendimiento. Los híbridos de mayor potencial productivo requerirían mayores dosis de nitrógeno para alcanzar su óptimo físico, mientras que los híbridos de menor potencial alcanzarían dicho nivel con dosis menores. Este comportamiento distinto se debería a la mayor respuesta al agregado de nitrógeno de los híbridos de alto potencial.
- La fertilización con azufre mostró una tendencia a incrementar el rendimiento de grano, especialmente cuando este nutriente fue aplicado en conjunto con dosis bajas de nitrógeno en híbridos de alto potencial productivo.
- El número de granos por metro cuadrado resultó ser la variable que mejor explicó el rendimiento de grano del cultivo. El peso de mil granos fue marcadamente superior en el híbrido de mayor potencial, lo que le permitió compensar de mejor manera la tendencia a reducir el rendimiento cuando se registró una disminución en el número de granos por metro cuadrado.
- La fertilización nitrogenada produjo un impacto marcado y positivo en el nivel de rendimiento de grano del cultivo en una campaña agrícola caracterizada por el abundante régimen de precipitaciones.

5. BIBLIOGRAFÍA

Barbagelata, P.A.; J.M. Pautassoy R.J.M. Melchiori (2014). *Diagnóstico de la fertilización nitrogenada para sorgo en Entre Ríos*. En: Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 5 p. Bahía Blanca, Buenos Aires, 5-9 de mayo de 2010. AACCS (en pendrive).

Bono, A. y R. Alvarez (2007). *Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana*. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 33: 25-26.

Cate, R. B., Jr. y L. A. Nelson, (1965). A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. *Tech. Bull. N°1, ISFEI series, North Carolina State University, Raleigh, N.C.*

Ciampitti, I.A. y F.O. García (2007). *Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios*. I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo Agronómico No. 11. Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 33:13-16.

Cortés, E.; A. Centeno; G. Boglione (2012). *Ensayos de rendimiento 2012. Zona Córdoba. Cuadernillo clásico de sorgo, Año 32, N° 172 p 46-47.*

De Battista, J.J.; N.M. Arias; A.C. Alaluf. y M. Castellá (2010). *Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de sorgo granífero Sorghum bicolor (L.) Moench*. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo, pp. 408-410. Rosario, Santa Fe, 17-19 de noviembre de 2010. AIANBA..

Díaz, M.G. ,W. Kuttel; R. López; J.J. De Battista y E. Figueroa (2012). *Ensayos de rendimiento 2012. Zona Entre Ríos y centro sur de Corrientes. Cuadernillo clásico de sorgo, Año 32, N° 172 p. 47-48.*

Díaz, M.G; O. Valentinuz; J.E. Esterri y R.F. Martínez (2005). *Desarrollo y determinación de genotipos de sorgo granífero ante cambios en la oferta de nitrógeno*. (Comunicación Personal)

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Ferrari, M.; L.A. Rivoltella y J.M. Casado (2012). *Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización nitrogenada en sorgo granífero*. En: Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 6 p. Mar del Plata, Buenos Aires, 16-20 de abril de 2012. SLCS - AACS (en CD-Rom).

Ferraris, G. N.; M. Barraco, L. Ventimiglia; L. Couretot; G. Magnone; W. Miranda; C. Scianca y F. Mousegne (2012). *Respuesta a nitrógeno-azufre y eficiencia de uso de nutrientes en maíz y sorgo*. Cuadernillo clásico de sorgo, Año 32, N° 172 pp. 20-22.

Ferraris, G. N.; M. Barraco; L. Ventimiglia; L. Couretot y F. Mousegne (2013a). *Fertilización en sorgo en el norte y centro-oeste de Buenos Aires. Rendimiento y eficiencia comparada al maíz*. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 19-21.

Ferraris, G. N.; M. Barraco; L. Ventimiglia; L. Couretot y F. Mousegne (2013b). *Tratamientos de fertilización en sorgo granífero*. Cuadernillo clásico de sorgo, Año 33, N° 178 pp. 13-14.

Ferraris, G. N. y L. Couretot (2013c). *Modelos comparados de respuesta a nitrógeno y azufre*. Cuadernillo temático de fertilidad y fertilizantes, Año 33, pp. 9-11.

Fontanetto, H.; O. Keller; J. Albrecht; D. Giailevra; C. Negro y L. Belotti (2008). *Aspectos de manejo y fertilización nitrogenada para el sorgo granífero*. Agromercado, Cuadernillo Clásico de Sorgo, Año 2008, N° 148, pp. 6-10.

Fontanetto, H.; O. Keller; L. Belotti; C. Negro, y D. Giailevra (2010). *Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero (campaña 2008/09)*. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 46:21-23.

Giorda, L.M.; O. Feresin y C. Domanski (1997). *Sorgo granífero*. Cuaderno de actualización técnica, Año 1997, N°7 p. 6.

Rey, L. y M. Torrecillas (2012). *Rendimiento de grano en sorgo granífero de diferente ciclo a distintas densidades y dosis de fertilización nitrogenada*. Cuadernillo clásico de sorgo, Año 32, N° 172, pp. 23-25.

Ventimiglia, L. y L. Torrens Baudrix (2013). *Fertilización nitrogenada en maíz y sorgo granífero*. Cuadernillo clásico de sorgo, Año 33, N° 178, pp. 15-16.

Zamora, M.; A. Melin y S. Balda (2010a). *Fertilización con nitrógeno y azufre en sorgo granífero en el centro de Buenos Aires*. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz y I Simposio Nacional de Sorgo, pp. 444-446. Rosario, Santa Fe, 17-19 de noviembre de 2010. AIANBA.

Zamora, M.; A. Melin y S. Balda (2010b). *Manejo del cultivo de sorgo: efecto de la densidad de siembra y la fertilización*. En: *Sorgo en el sur. Producción de forraje y grano*, pp. 7-9. EEA Bordenave, INTA.

ANEXO I

Resultados del test de Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unila)
Rinde aj al 14% H(Kg/ha)	36	8391,64	2063,72	0,97	0,7886
N° granos/m2	36	27649,55	6673,69	0,94	0,1505
Peso de mil granos (grs)	36	30,78	5,24	0,81	<0,0001

D.E.: desvío estándar

$$W^* = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i)^2}{\sum (x - \bar{x})^2} = \frac{b^2}{S^2}$$

REGLA DE DECISIÓN

Si $W_0 \leq W_{t,\alpha}$ Rechazamos H_0

(Tabla cuantiles de W)

Donde

a_{n-i+1} = cuantiles esperados de x_i

x_{n-i+1} = dato mayor de la muestra ordenada

x_i = dato menor de la muestra ordenada

\bar{x} = dato de la muestra ordenada

\bar{x} = media de la muestra

Si $W < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula

H_0) La distribución es normal

P(Unila): Probabilidad unilateral. Es un test de una sola cola.

ANEXO II

Análisis de la varianza

Rinde aj 14% H (kg/ha)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rinde aj 14% H	36	0,87	0,55	16,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor(Error)
Modelo	129864732,49	25	5194589,30	2,71	0,0514
Híbrido	35355907,01	1	35355907,01	100,65	0,0098 (H*B)
Bloque	2546364,75	2	1273182,38	0,66	0,5365
Híb*Bloq	702518,74	2	351259,37	0,18	0,8355
Fertiliz	63998070,27	5	12799614,05	6,67	0,0056
Híb*Fert	9452801,70	5	1890560,34	0,98	0,4727
Bloq*Fert	17809070,03	10	1780907,00	0,93	0,5461
Error	19198254,87	10	1919825,49		
Total	149062987,37	35			

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor(Error)
N40 (con y sin S)	-332,03	799,96	330738,40	1	330738,40	0,17	0,6869
N120 (con y sin S)	-90,18	799,96	24399,10	1	24399,10	0,01	0,9125
Total			355137,50	2	177568,75	0,09	0,9124

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80	0,00	0,00

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=849,28878

Error: 351259,3719 gl: 2

H	Medias	n	E.E.
AD18*RT11	9382,66	18	139,69
AD-80STA	7400,63	18	139,69

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2778,52944

Error: 1919825,4873 gl: 10

T	Medias	n	E.E.		
N120 S15	9958,80	6	565,66	A	
N120 S0	9868,62	6	565,66	A	
N80	8989,97	6	565,66	A	B
N40 S15	7789,47	6	565,66	A	B
N40 S0	7457,43	6	565,66	A	B
N0 S0	6285,57	6	565,66		B

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

N° granos/m2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° granos/m2	36	0,85	0,47	17,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor(Error)
Modelo	1322133956,35	25	52885358,25	2,23	0,0924
Híbrido	61452534,03	1	61452534,03	29,96	0,0318 (H*B)
Bloque	5830917,86	2	2915458,93	0,12	0,8854
Híb*Bloq	4102612,74	2	2051306,37	0,09	0,9177
Fertiliz	850881230,12	5	170176246,02	7,19	0,0042
Híb*Fert	134026111,60	5	26805222,32	1,13	0,4038
Bloq*Fert	265840550,01	10	26584055,00	1,12	0,4290
Error	236699776,22	10	23669977,62		
Total	1558833732,57	35			

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor(Error)
N40 (con y sin S)	-1620,93	2808,91	7882274,61	1	7882274,61	0,33	0,5767
N120 (con y sin S)	-505,12	2808,91	765428,54	1	765428,54	0,03	0,8609
Total			8647703,15	2	4323851,58	0,18	0,8358

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80	0,00	0,00

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2052,37488

Error: 2051306,3686 gl: 2

H	Medias	n	E.E.	
AD-80STA	28956,08	18	337,58	A
AD18*RT11	26343,02	18	337,58	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9756,25290

Error: 23669977,6216 gl: 10

T	Medias	n	E.E.			
N120 S15	33416,30	6	1986,20	A		
N120 S0	32911,18	6	1986,20	A	B	
N80	30354,73	6	1986,20	A	B	
N40 S15	25131,92	6	1986,20	A	B	C
N40 S0	23510,98	6	1986,20		B	C
N0 S0	20572,18	6	1986,20			C

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

Peso de mil granos (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de mil granos (g)	36	0,99	0,96	3,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	949,18	25	37,97	33,19	<0,0001	
Híbrido	900,00	1	900,00	1569,77	0,0006	(H*B)
Bloque	13,56	2	6,78	5,92	0,0201	
Híb*Bloq	1,15	2	0,57	0,50	0,6203	
Fertiliz	15,29	5	3,06	2,67	0,0872	
Híb*Fert	10,45	5	2,09	1,83	0,1950	
Bloq*Fert	8,74	10	0,87	0,76	0,6609	
Error	11,44	10	1,14			
Total	960,62	35				

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
N40 (con y sin S)	1,07	0,62	3,41	1	3,41	2,98	0,1148	
N120 (con y sin S)	0,40	0,62	0,48	1	0,48	0,42	0,5317	
Total			3,89	2	1,95	1,70	0,2312	

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80	0,00	0,00

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,08504

Error: 0,5733 gl: 2

H	Medias	n	E.E.	
AD18*RT11	35,78	18	0,18	A
AD-80STA	25,78	18	0,18	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,14485

Error: 1,1440 gl: 10

T	Medias	n	E.E.
N40 S0	31,87	6	0,44 A
N0 S0	31,33	6	0,44 A
N40 S15	30,80	6	0,44 A
N80	30,40	6	0,44 A
N120 S0	30,33	6	0,44 A
N120 S15	29,93	6	0,44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**N° granos/panoja**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° granos/panoja	36	0,84	0,44	17,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1491542,48	25	59661,70	2,10	0,1107	
Híbrido	56922,01	1	56922,01	22,77	0,0412	(H*B)
Bloque	5825,22	2	2912,61	0,10	0,9036	
Híb*Bloq	4999,48	2	2499,74	0,09	0,9166	
Fertiliz	951685,50	5	190337,10	6,69	0,0055	
Híb*Fert	152806,74	5	30561,35	1,07	0,4297	
Bloq*Fert	319303,53	10	31930,35	1,12	0,4294	
Error	284493,14	10	28449,31			
Total	1776035,62	35				

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
N40 (con y sin S)	-55,53	97,38	9251,85	1	9251,85	0,33	0,5811	
N120 (con y sin S)	-13,82	97,38	572,70	1	572,70	0,02	0,8900	
Total			9824,55	2	4912,28	0,17	0,8439	

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80	0,00	0,00

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=71,64550

Error: 2499,7411 gl: 2

H	Medias	n	E.E.
AD-80STA	985,43	18	11,78 A
AD18*RT11	905,91	18	11,78 B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=338,23615

Error: 28449,3138 gl: 10

T	Medias	n	E.E.	
N120 S15	1137,70	6	68,86	A
N120 S0	1123,88	6	68,86	A
N80	1034,67	6	68,86	A B
N40 S15	861,62	6	68,86	A B
N40 S0	806,08	6	68,86	A B
N0 S0	710,07	6	68,86	B

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

Peso panoja (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso panoja (g)	36	0,87	0,54	16,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1521,49	25	60,86	2,66	0,0541	
Híbrido	452,27	1	452,27	97,89	0,0101	(H*B)
Bloque	28,70	2	14,35	0,63	0,5534	
Híb*Bloq	9,24	2	4,62	0,20	0,8202	
Fertiliz	710,98	5	142,20	6,22	0,0071	
Híb*Fert	108,57	5	21,71	0,95	0,4903	
Bloq*Fert	211,72	10	21,17	0,93	0,5468	
Error	228,49	10	22,85			
Total	1749,97	35				

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
N40 (con y sin S)	-1,12	2,76	3,74	1	3,74	0,16	0,6943	
N120 (con y sin S)	-0,22	2,76	0,14	1	0,14	0,01	0,9390	
Total			3,88	2	1,94	0,08	0,9192	

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80	0,00	0,00

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,08018

Error: 4,6203 gl: 2

H	Medias	n	E.E.	
AD18*RT11	32,27	18	0,51	A
AD-80STA	25,18	18	0,51	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,58548**

Error: 22,8486 gl: 10

T	Medias	n	E.E.		
N120 S15	33,93	6	1,95	A	
N120 S0	33,72	6	1,95	A	
N80	30,67	6	1,95	A	B
N40 S15	26,72	6	1,95	A	B
N40 S0	25,60	6	1,95	A	B
N0 S0	21,73	6	1,95		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Variación porcentual del Peso Fresco (PF) de planta**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Var. PF (%)	36	0,76	0,17	27,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	4107,89	25	164,32	1,30	0,3460	
Híbrido	202,11	1	202,11	0,97	0,4285	(H*B)
Bloque	291,85	2	145,93	1,15	0,3551	
Híb*Bloq	416,69	2	208,35	1,64	0,2416	
Fertiliz	1564,20	5	312,84	2,47	0,1052	
Híb*Fert	98,89	5	19,78	0,16	0,9733	
Bloq*Fert	1534,15	10	153,41	1,21	0,3847	
Error	1268,36	10	126,84			
Total	5376,25	35				

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
N40 (con y sin S)	-8,17	6,50	200,08	1	200,08	1,58	0,2377	
N120 (con y sin S)	0,68	6,50	1,40	1	1,40	0,01	0,9184	
Total			201,48	2	100,74	0,79	0,4785	

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80 S0	0,00	0,00

Variación porcentual en altura de planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Variación altura (%)	36	0,83	0,40	80,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	2281,28	25	91,25	1,93	0,1389	
Híbrido	408,04	1	408,04	7,83	0,1075	(H*B)
Bloque	182,64	2	91,32	1,93	0,1953	
Híb*Bloq	104,20	2	52,10	1,10	0,3695	
Fertiliz	828,03	5	165,61	3,50	0,0434	
Híb*Fert	203,14	5	40,63	0,86	0,5398	
Bloq*Fert	555,25	10	55,52	1,17	0,4022	
Error	472,86	10	47,29			
Total	2754,14	35				

Contrastes

T	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
N40 (con y sin S)	-3,45	3,97	35,71	1	35,71	0,76	0,4052
N120 (con y sin S)	-1,48	3,97	6,60	1	6,60	0,14	0,7165
Total		42,31	2	21,15	0,45	0,6515	

Coefficientes de los contrastes

T	Ct.1	Ct.2
N0 S0	0,00	0,00
N120 S0	0,00	1,00
N120 S15	0,00	-1,00
N40 S0	1,00	0,00
N40 S15	-1,00	0,00
N80	0,00	0,00

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,34308

Error: 52,0975 gl: 2

H	Medias	n	E.E.
AD-80STA	11,89	18	1,70 A
AD18*RT11	5,16	18	1,70 A

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=13,78954

Error: 47,2858 gl: 10

T	Medias	n	E, E,		
N0 S0	17,43	6	2,81	A	
N120 S15	10,75	6	2,81	A	B
N120 S0	9,27	6	2,81	A	B
N40 S15	6,38	6	2,81	A	B
N80	4,37	6	2,81	A	B
N40 S0	2,93	6	2,81		B

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

ANEXO III

Análisis de regresión lineal

Híbrido	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
AD18*RT11	Rinde aj 14% H	18	0,98	0,98	104258,83	258,56	261,23

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const		780,38	305,05	133,69	1427,06	2,56	0,0211	
N° granos/m2	0,33	0,01	0,30	0,35	28,91	<0,0001	787,87	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	68316322,16	1	68316322,16	835,98	<0,0001
N° granos/m2	68316322,16	1	68316322,16	835,98	<0,0001
Error	1307513,52	16	81719,60		
Total	69623835,68	17			

Híbrido	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
AD-80STA	Rinde aj 14% H	18	0,97	0,97	114742,54	260,36	263,03

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const		940,83	305,65	292,89	1588,78	3,08	0,0072	
N° granos/m2	0,22	0,01	0,20	0,24	21,73	<0,0001	445,33	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42637997,87	1	42637997,87	472,04	<0,0001
N° granos/m2	42637997,87	1	42637997,87	472,04	<0,0001
Error	1445246,80	16	90327,93		
Total	44083244,68	17			

Análisis de regresión lineal

Híbrido	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
09AD18*RT11	Rinde aj. (Kg/ha)	18	0,17	0,12	4509556,19	326,69	329,36

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	31318,51	11991,94	5896,73	56740,28	2,61	0,0189		
Peso de mil granos (grs)	-613,11	334,95	-1323,17	96,94	-1,83	0,0859	4,21	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12055812,49	1	12055812,49	3,35	0,0859
Peso de mil granos (grs)	12055812,49	1	12055812,49	3,35	0,0859
Error	57568144,66	16	3598009,04		
Total	69623957,14	17			

Híbrido	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
AD-80STA	Rinde aj. (Kg/ha)	18	0,36	0,32	2175845,18	313,80	316,47

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	26665,16	6405,30	13086,55	40243,78	4,16	0,0007		
Peso de mil granos (grs)	-747,33	248,19	-1273,46	-221,20	-3,01	0,0083	9,59	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15945916,02	1	15945916,02	9,07	0,0083
Peso de mil granos (grs)	15945916,02	1	15945916,02	9,07	0,0083
Error	28138124,33	16	1758632,77		
Total	44084040,35	17			

Análisis de regresión lineal para dos híbridos

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
RR	24	0,64	0,62	130,50	185,57	189,10

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	53,98	5,16	43,27	64,68	10,46	<0,0001		
Ns	0,30	0,05	0,20	0,40	6,22	<0,0001	38,06	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4389,76	1	4389,76	38,70	<0,0001
Ns	4389,76	1	4389,76	38,70	<0,0001
Error	2495,53	16	113,43		
Total	6885,28	17			

Análisis de regresión lineal para el híbrido AD18*RT11

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
RR	12	0,71	0,68	1829721,11	207,16	208,61

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	5699,41	793,05	3932,38	7466,44	7,19	<0,0001		
Ns	36,58	7,47	19,93	53,22	4,90	<0,0006	22,89	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	32112850,42	1	32112850,42	23,98	<0,0006
Ns	32112850,42	1	32112850,42	23,98	<0,0006
Error	13393555,83	10	1339355,58		
Total	45506406,25	11			

Análisis de regresión lineal para el híbrido AD-80STA

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
RR	12	0,59	0,55	1329965,29	204,05	205,51

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	5120,84	696,81	3568,24	6673,44	7,35	<0,0001		
Ns	25,09	6,56	10,47	39,72	3,82	0,0034	14,38	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15110201,67	1	15110201,67	14,61	<0,0034
Ns	15110201,67	1	15110201,67	14,61	<0,0034
Error	10340165,00	10	1034016,50		
Total	25450366,67	11			

ANEXO IV

	AD-80STA	AD18*RT11
Ciclo	Intermedio	Intermedio
Panojas	Semilaxas	Semicompactas
Respuesta a N	Muy alta	Muy alta
Potencialidad de rendimiento	Alto	Muy alto
Estabilidad de rendimiento	Muy alto	alto
Rendimiento ante situaciones de stress	Alto	bajo
Eficiencia emergencia	alta	media
Tamaño del grano	chico	grande
Taninos condensados	alto	intermedio-alto
Capacidad de macollaje	alta	baja
Altura (m)	< 1,5	< 1,5
Resistencia a downy mildew	sí	sí
Resistencia a roya	intermedia	-
Resistencia a bacteriosis	varias	varias
Resistencia a virosis	varias	varias
Resistencia a fusariosis	sí	-
Empresa	Adsur Semillas Híbridas	Sorgos Híbridos G, H, Scheidl