

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

AJUSTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN SORGO
GRANÍFERO

por

Pedro Agustín HARREGUY SOURBIES

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2011

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Aurora Emilia Cerveñansky Kafka

Ing. Agr. Omar Nelson Casanova La Cruz

Ing. Agr. Roberto Lingeri

Fecha:

26 de diciembre de 2011

Autor:

Pedro Agustín Harreguy Sourbies

AGRADECIMIENTOS

A Aurora Cerveñansky y Omar Casanova, quienes con mucha dedicación me formaron agronómica y humanamente.

A los integrantes de la Cátedra de Fertilidad de suelos, en especial a Daniel Arana y Amilcar García por el trabajo realizado en el campo, Amabelia Del Pino, Marcelo Ferrando, Leticia Martínez, Lucía Rocha, Sergio Malutin, Sabrina Latorre, Jimena Rodríguez , Verónica Piñeiro, Gabriel Fagionato y María Jose Fiorelli, por su disposición durante los análisis realizados en el laboratorio.

Al personal de biblioteca por su cordial atención, en especial a Sully Toledo, encargada de la presentación formal de este documento.

Un agradecimiento muy especial a Estela Priore.

A mi familia, por su confianza y constante estímulo durante mi formación agronómica.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VIII
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
A. ECOFISIOLOGÍA Y ADAPTACIÓN.....	2
1. <u>Tasa de crecimiento y estado fenológico del cultivo</u>	2
2. <u>Radiación</u>	4
3. <u>Temperatura</u>	4
4. <u>Agua</u>	5
B. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN.....	6
1. <u>Fecha de siembra</u>	6
2. <u>Densidad de siembra y población</u>	6
3. <u>Cultivar</u>	8
4. <u>Nutrientes</u>	8
C. NITROGENO. CO-RESPONSABLE DEL RENDIMIENTO.....	9
1. <u>Función del N en la planta</u>	9
2. <u>Absorción y translocación del N</u>	10
3. <u>Respuesta al agregado de nitrógeno</u>	10
a. Respuesta en el rendimiento en grano.....	11
b. Respuesta en la concentración de N en grano.....	13
4. <u>Respuesta a la fuente de N agregado</u>	14
a. Disponibilidad para las plantas.....	15
b. Pérdida de NH_4^+ por volatilización.....	15
c. Pérdida de NO_3^- por lixiviación.....	16
d. Pérdida de NO_3^- por desnitrificación.....	16
III. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	17
A. CARACTERIZACIÓN DE LAS NUEVE LOCALIDADES.....	17
1. <u>Ubicación de los experimentos</u>	17
2. <u>Caracterización de suelo al inicio del ensayo según</u> <u>localidad</u>	18
3. <u>Manejo realizado al cultivo según localidad</u>	19

B. MEDICIÓN.....	20
C. TRATAMIENTOS.....	20
1. <u>Dosis crecientes de nitrógeno</u>	20
2. <u>Diferentes fuentes de nitrógeno</u>	20
D. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	21
E. PROCEDIMIENTO A CAMPO.....	21
F. DETERMINACIONES.....	22
1. <u>Determinaciones a la instalación del ensayo</u>	22
a. Análisis de suelo.....	22
2. <u>Determinaciones a estado fenológico V6</u>	22
a. Nitrato en suelo.....	22
b. Nitrato en planta.....	23
3. <u>Determinaciones a cosecha</u>	23
a. Nitrógeno en grano.....	23
b. Número de panojas cosechadas.....	23
c. Contenido de materia seca en grano.....	23
d. Rendimiento en grano.....	23
G. ANALISIS ESTADISTICO.....	23
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	25
A. CONDICIONES CLIMATICAS.....	25
1. <u>Precipitaciones</u>	25
2. <u>Temperatura</u>	27
B. SITIO 1.....	28
1. <u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	28
a. Respuesta en el rendimiento en grano.....	28
b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	28
c. Respuesta en N absorbido por el grano.....	29
2. <u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	29
C. SITIO 2.....	30
1. <u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	30
a. Respuesta en el rendimiento en grano.....	30
b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	31
c. Respuesta en N absorbido por el grano.....	32
2. <u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	32
D. SITIO 3.....	33
1. <u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	33

a.	Respuesta en el rendimiento en grano.....	33
b.	Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	33
c.	Respuesta en N absorbido por el grano.....	34
2.	<u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	34
E.	SITIO 4.....	35
1.	<u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	35
a.	Respuesta en el rendimiento en grano.....	35
b.	Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	36
c.	Respuesta en N absorbido por el grano.....	36
2.	<u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	37
F.	SITIO 5.....	37
1.	<u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	37
a.	Respuesta en el rendimiento en grano.....	37
b.	Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	38
c.	Respuesta en N absorbido por el grano.....	39
2.	<u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	39
G.	SITIO 6.....	40
1.	<u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	40
a.	Respuesta en el rendimiento en grano.....	40
b.	Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	41
c.	Respuesta en N absorbido por el grano.....	41
2.	<u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	41
H.	SITIO 7.....	42
1.	<u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	42
a.	Respuesta en el rendimiento en grano.....	42
b.	Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	43
c.	Respuesta en N absorbido por el grano.....	43
2.	<u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	43
I.	SITIO 8.....	44
1.	<u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	44
a.	Respuesta en el rendimiento en grano.....	44
b.	Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	45
c.	Respuesta en N absorbido por el grano.....	46
2.	<u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	46
J.	SITIO 9.....	47
1.	<u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	47

a. Respuesta en el rendimiento en grano.....	47
b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	48
c. Respuesta en N absorbido por el grano.....	48
2. <u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	48
K. <u>COMPARACIÓN ENTRE SITIOS</u>	49
1. <u>Respuesta a la dosis de fertilizante nitrogenado</u>	49
a. Respuesta en el rendimiento en grano.....	49
b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano.....	51
c. Respuesta en N absorbido por el grano.....	53
d. Respuesta en el número de panojas / m ²	54
2. <u>Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)</u>	55
3. <u>Relación entre el rendimiento y el contenido de NO₃⁻</u> <u>en suelo próximo a V6</u>	56
4. <u>Relación entre el rendimiento y el contenido de NO₃⁻</u> <u>en planta próximo a V6</u>	59
V. <u>CONCLUSIONES</u>	61
VI. <u>RESUMEN</u>	62
VII. <u>SUMMARY</u>	63
VIII. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	64
IV. <u>ANEXOS</u>	72

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Necesidad del cultivo de nutrientes para tres diferentes rendimientos.	8
2. Extracción de nutrientes por el grano de sorgo.	8
3. Resumen de información de ensayos con fertilización nitrogenada en los últimos años en Uruguay.	12
4. Características de las diferentes fuentes de nitrógeno utilizadas en la investigación.	14
5. Ubicación de los experimentos.	17
6. Características descriptivas de los suelos para los 9 ensayos.	18
7. Manejo del cultivo según sitio, previo a la instalación del ensayo	19
8. Tratamientos utilizados.	20
9. Manejo del cultivo por sitio durante el ensayo.	21
10. Balance de las precipitaciones durante el cultivo para los nueve sitios experimentales.	26
11. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 1)	30
12. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 2)	32
13. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 3)	35
14. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 4)	37

15. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 5)	39
16. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 6)	42
17. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 7)	44
18. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 8)	47
19. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 9)	49
20. Indicadores de las 9 regresiones entre el rendimiento y las dosis de nitrógeno.	49
21. Manejo del cultivo y efecto de la fertilización para los 9 sitios en estudio.	50
22. Indicadores de las 9 regresiones entre la concentración de N y las dosis de nitrógeno.	52
23. Kg de N absorbido según dosis aplicada	53
24. Kg de N absorbido por kg de N aplicado según dosis aplicada	54
25. Número de panojas/m ² para cada dosis de N aplicado en cada sitio experimental y su resultado estadístico.	55
26. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas para los 9 sitios experimentales.	55
27. Correlaciones entre el contenido de NO ₃ en la fila, la entrefila y el rendimiento.	56
28. Contenido del NO ₃ en suelo y respuesta a la fertilización para los 9 sitios en estudio.	57

Figura No.

1. Definición de rendimiento	3
2. Efecto de la población en el rendimiento	7
3. Comparación de la temperatura media, temperatura mínima media y temperatura máxima media entre el período 2009-2010	27
4. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 1).	28
5. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 1).	29
6. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 2).	31
7. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 2).	31
8. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 3).	33
9. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 3).	34
10. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 4).	35
11. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 4).	36
12. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 5).	38
13. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 5).	39
14. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 6).	40

15. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 6).	41
16. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 7).	42
17. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 7).	43
18. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 8).	45
19. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 8).	46
20. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 9).	47
21. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 9).	48
22. Relación entre el rendimiento y la concentración de N en grano promedio para las cuatro dosis de N aplicadas.	53
23. Relación entre el rendimiento y el contenido de NO_3 en suelo.	58
24. Relación entre el rendimiento relativo y el contenido de NO_3 en suelo.	59
25. Relación entre el rendimiento y el contenido de NO_3 en planta.	60
26. Relación entre el rendimiento relativo y el contenido de NO_3 en planta.	60

I. INTRODUCCIÓN

La evolución del conocimiento de la fertilidad de suelos en el Uruguay, con relación al nitrógeno, ha tenido sus dificultades por la dinámica biológica que posee, la incertidumbre del destino de sus diferentes formas y su estrecha relación a las condiciones ambientales imperantes. La actual realidad de los precios de los granos, la necesidad de mantener la producción de leche y carne, así como los costos del fertilizante, obligan a un replanteo de éste último aspecto. El ajuste de la fertilización, nos lleva a apuntar a elevados rendimientos con la mayor eficiencia y eficacia en su aplicación con relación a dosis y fuentes de nitrógeno. El aumento del área sembrada de sorgo granífero con un doble propósito de grano húmedo o maduro, como alternativa a otros cereales con mayores exigencias en las condiciones de suelo, hace necesario el estudio específico de sus requerimientos nutricionales. El surgimiento de nuevos materiales genéticos – con potencial de rendimiento y calidad – junto a nuevos productos fertilizantes en nuestro mercado, requieren de una actualización y replanteo de la fertilización nitrogenada (dosis x fuente).

El objetivo del trabajo - desarrollado en sitios representativos de la cuenca lechera sur (predios de productores) - fue:

- 1 - Ajuste de un modelo de respuesta al agregado de nitrógeno durante el desarrollo de la sexta hoja (V6: momento fisiológico que resulta crítico en la determinación del rendimiento final).
- 2 - Evaluación del comportamiento de diferentes fuentes de nitrógeno a una misma dosis (40 kg ha^{-1}).

La metodología propuesta nos posibilitaría avanzar en la toma de decisiones a nivel regional, permitiendo una rápida adopción de las tecnologías existentes a nivel predial llevándonos a una utilización mas eficiente y económica del insumo nitrógeno basada en criterios objetivos (índices de disponibilidad), que bajen los costos de producción, sin perder rendimiento potencial y manteniendo de un sistema sostenible.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. ECOFISIOLOGÍA Y ADAPTACIÓN

La fisiología del sorgo - explicada como procesos físicos y químicos, donde a partir de la luz la planta forma complejas estructuras - es consecuencia de cómo se integran dichos procesos en el espacio y en el tiempo y su modulación por el medio ambiente para llevar a buen término el desarrollo del organismo de la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

1. Tasa de crecimiento y estado fenológico del cultivo

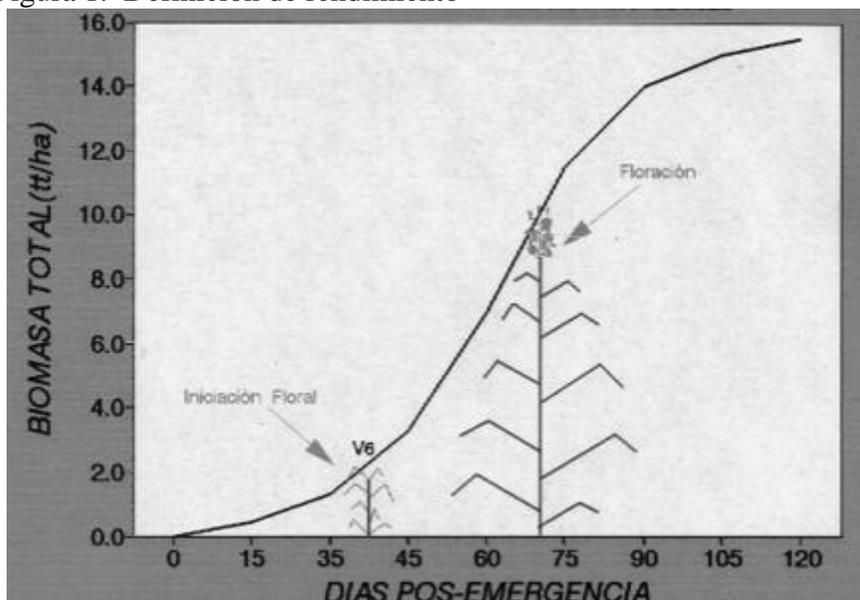
La producción de biomasa es función de la tasa de crecimiento del cultivo. Ella a su vez, está determinada por la radiación fotosintéticamente activa incidente, la eficiencia en la intercepción de luz y de conversión de la misma en complejas estructuras para formar el cuerpo de la planta. La fecha de siembra resulta entonces, el principal factor de manejo que determina la cantidad de radiación fotosintéticamente activa incidente para el cultivo de sorgo. Por otra parte, la eficiencia de intercepción de la luz solar, está determinada por la fecha de siembra y por la densidad de siembra, dado que inciden en el tiempo para llegar al IAF óptimo (máxima eficiencia de intercepción) y en el grado de competencia entre plantas. Finalmente, la eficiencia de conversión es un balance entre fotosíntesis y respiración pero principalmente esta explicada por la condición C4 del sorgo. Lo que explica las siguientes características fotosintéticas: alto punto de saturación lumínica, fotosíntesis máxima con temperaturas elevadas (intentar que se de en este momento el llenado de grano), alta eficiencia en el uso del agua y nitrógeno, bajo punto de compensación por CO₂ y alto punto de compensación por luz (Carrasco, 2004).

A lo largo del ciclo del cultivo, van a ocurrir cambios en las tasas de crecimiento que definen la curva de producción de materia seca. Para entender dichos cambios en las tasas de crecimiento, tanto en la etapa vegetativa como productiva, así como para saber las etapas donde se forma el potencial de rendimiento y en las que se concreta este potencial, es de suma importancia utilizar escalas que diferencien las etapas fenológicas del cultivo. Si bien la indicada para utilizar en el cultivo de sorgo es la propuesta por Vanderlip publicada por Carrasco (2004), hoy se utiliza principalmente la escala del cultivo de maíz.

En la Figura 1, se presenta la evolución de la tasa de crecimiento en producción de biomasa, en función de la edad de la planta en días pos-emergencia. La fase inicial, donde se construye y determina la producción foliar, va desde emergencia hasta iniciación floral (V5-V6 para nuestras condiciones). Este período es relativamente corto,

y presenta tasas de crecimiento muy bajas. Estas últimas, determinan que durante el período (V5-V6) donde se define el máximo rendimiento por panoja (entre doble arruga y espiguilla terminal), período relativamente corto (10 días), la competencia entre plantas puede ser muy baja. Por lo tanto, el rendimiento máximo de la planta se puede llegar a definir sin problemas¹.

Figura 1. Definición de rendimiento



Fuente: Ernst¹

A partir de V5-V6 y hasta floración, ocurre la mayor tasa de crecimiento y producción de materia seca. Esta etapa es la más importante en definir el rendimiento ya que va a estar determinando el número de estructuras a llenar, es decir se está determinando el número de grano m^{-2} . Además es donde ocurre la mayor demanda del cultivo por los nutrientes, principalmente nitrógeno. Por lo cual es muy importante satisfacer esa demanda, ya que - según Echeverría y García (2005) - cuando los requerimientos nutricionales no son satisfechos, se resiente el área foliar y la eficiencia fotosintética disminuyendo la tasa de crecimiento.

La etapa post-floración - conocida como período de llenado de grano - es de suma importancia para determinar el peso del grano. El 90% de la materia seca producida en esta fase termina en el grano. Pero el índice de cosecha del cultivo ronda los 50 % ya que es un balance entre el 90% durante el llenado de grano y el 10% que se deposita en el grano antes y durante la floración¹.

¹ Ernst, O. 2010. Curso Cereales y Cultivos Industriales "B"

2. Radiación

La radiación es un factor importante en el cultivo de sorgo por dos razones: por la condición de especie C4 y por que el rendimiento en grano depende en última instancia de la fotosíntesis durante el llenado del grano.

Según Algorta y Carcabelos (2007), en el Uruguay existe la máxima radiación compatible con la agricultura de secano. Dicha radiación varía desde el este hacia el noroeste, explicado principalmente por la mayor nubosidad asociada a las masas de agua del océano atlántico. Pero como el sorgo responde en torno al 0.8-1 % de incremento por cada 1% de incremento en la radiación y la heliofanía relativa varía entre 3 y 5 puntos porcentuales, la variación máxima esperable en rendimiento por sembrar sorgo en cualquier parte del país ronda en un 3 a 5 %.

La adecuada capacidad del sorgo para captar la radiación puede ser explicada porque sus hojas tienen un arreglo opuesto con un bajo ángulo de inserción, características que se asocian a una mayor capacidad de captación de luz (Ayala y Sawchik, 1988).

3. Temperatura

La temperatura mínima para la germinación del sorgo es de 10° C, citándose un óptimo de 18–21° C. Para los 35° de longitud, la temperatura mínima a nivel del suelo se alcanza entre el 10 y el 22 de setiembre; recién a principios de noviembre se logra la óptima temperatura, variando con los años y las condiciones ambientales cercanas a la siembra (Ernst, 2004a).

En el país no existen limitantes en cuanto a temperaturas: el rango de temperaturas predominantes en verano se encuentra dentro de la zona de máxima respuesta biológica (Carrasco, 2004). De todas maneras, la temperatura puede considerarse como el parámetro climático que determina la estación de crecimiento óptima (Ernst, 2004a).

Las mejores condiciones para el sorgo, están dadas por su condición de gramínea C4, ya que presenta tanto respuesta a la altas temperaturas diurnas (óptimo de 24° C) como a bajas temperaturas nocturnas. Por lo que condiciones que presenten un balance entre la máxima temperatura diurna (permiten aumentar la tasa de crecimiento) y la mínima temperatura nocturna (evitan pérdidas por fotorespiración), van a permitir las mayores tasas de crecimiento. Esto ocurre por lo general cuando la temperatura media del día ronda entre 18-24° C.

4. Agua

Según Corsi (1982), todo el país tendría aptitud preferencial en cuanto a los requerimientos hídricos para el sorgo. Además, la bibliografía indica que con los 450mm de precipitación durante el ciclo del cultivo, el rendimiento se hace independiente de la evaporación total. Para Carrasco (2004), no basta con que las precipitaciones totales sean suficientes, ya que la distribución de las lluvias en la estación de crecimiento puede determinar que exista o no producción de grano a esos niveles de precipitación. Esto se explica teniendo en cuenta el consumo del cultivo en sus distintas etapas de desarrollo donde se observa que alrededor de la floración el consumo diario de agua se hace máximo (Carrasco, 2004). La mayor tasa de consumo de agua comienza en V5-6 haciéndose máxima en embuche y floración, decayendo en el llenado de grano y madurez hasta un mínimo en el momento de cosecha. Varios autores coinciden en que el embuche constituye el período máximo de consumo hídrico (Musick et al., 1963). Ello implica una baja tasa de crecimiento inicial (período estrictamente vegetativo) y otro de máxima construcción del rendimiento, demandando por planta alrededor de 75 mm de agua¹. Y si consideramos la capacidad de almacenaje de los suelos con aptitud agrícola del Uruguay que según Corsi (1982) ronda en los 125 mm, el consumo de agua para determinar el potencial máximo no sería limitante.

Por último, el sorgo presenta características fisiológicas y morfológicas muy importantes, lo cual hace de él un cultivo con buena respuesta a los problemas hídricos. Su capacidad para comportarse como una especie tolerante al déficit hídrico esta dado por:

- Sistema radicular más eficiente, debido a que provee el doble de raíces con relación a la parte aérea y a una mayor concentración osmótica en sus raíces, corona y tallos con respecto al maíz por ejemplo (CIAAB, 1974). A su vez, su sistema radicular presenta un alto grado de ramificación (Miller, citado por Carrasco, 2004).

- El sistema aéreo presenta características que reducen las pérdidas de agua, como recubrimiento de tallos y hojas por una capa cera, mayor cutinización de la epidermis, alto número de estomas, de menor tamaño y con una sensibilidad menor ante la fluctuación del balance hídrico de la planta. Las hojas presentan células motoras en su nervadura central que le permiten a estas enrollarse bajo condiciones adversas.

- La planta de sorgo presenta una gran capacidad de reacción frente a condiciones desfavorables de humedad en el suelo, pudiendo permanecer en estado latente durante cierto tiempo y reanudar el crecimiento cuando las condiciones vuelvan a ser favorables (CIAAB, 1974)

Pero por su característica de especie C4, el sorgo es capaz de responder al riego, tanto que el agua puede considerarse como principal limitante a la hora de aumentar la densidad de siembra como veremos más adelante.

B. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

1. Fecha de siembra

La temperatura del suelo para una correcta germinación del sorgo, deberá ser mayor a 18° C. Teniendo en cuenta la temperatura en años normales, la fecha aconsejable sería a mediados de noviembre. Heladas tempranas pueden afectar al cultivo que esté en grano lechoso, produciendo la muerte de las plantas y problemas de hongos (Irigoyen y Perrachon, 2007). Tres días con temperaturas de 18° C en el suelo estaría marcando la fecha óptima de siembra.

El momento de siembra también va a estar determinado por el tiempo necesario para almacenar agua en el suelo, esto importa en suelos profundos perdiendo relevancia en aquellos superficiales donde el agua disponible será rápidamente consumida por el cultivo.

El estado del rastrojo, previo a la siembra es muy importante a tener en cuenta al determinar dicha fecha óptima, ya que éste comienza su proceso de descomposición, dentro del cual se pueden marcar dos etapas. La primera en el tiempo, presenta una deficiencia de N y S debido a la inmovilización de los microorganismos y una mala cama de siembra. La segunda, ya con el rastrojo más degradado, el N y S comienzan a acumularse en el suelo quedando disponible para el próximo cultivo y se inicia la descompactación del suelo.

2. Densidad de siembra y población

El numero de plantas/ha es una de las variables más importantes a la hora de buscar altos rendimientos en el cultivo de sorgo, ya que va a estar determinando la competencia entre plantas por luz y por agua.

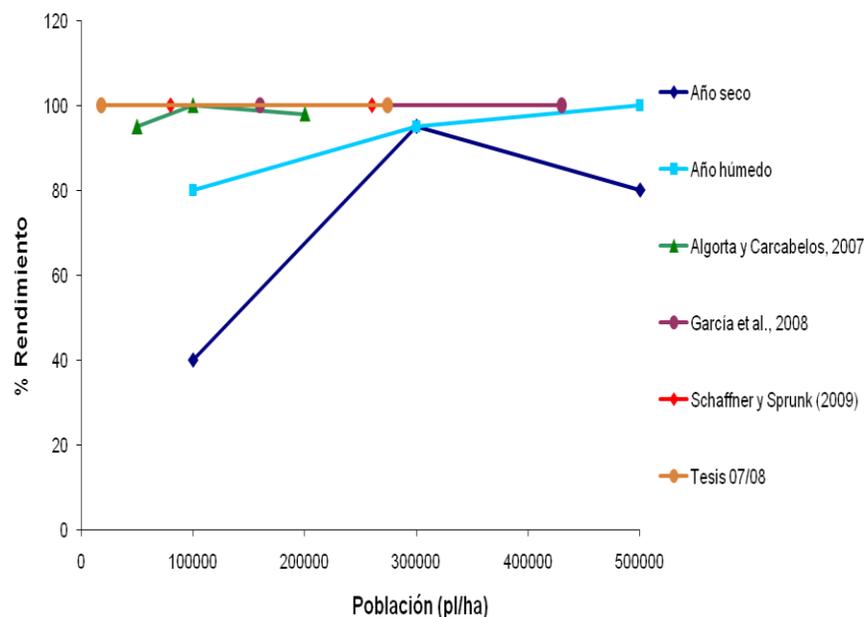
Hay suficiente trabajos que demuestra la importancia sobre el rendimiento al reducir la distancia entre hileras a 40-50 cm (Parietti y Porro 1986, Antelo y Mermot 1988, Alcoz et al. 1988). Estudios por Algorta y Carcabelos (2007) no mostraron diferencias significativas al reducir aún más la distancia entre hileras de 50 a 25 cm.

La información obtenida entre los años 70' y 80' muestra que la población óptima ronda en las 300.000 plantas/ha - tanto en un año seco como en un año húmedo - dado que ante un cambio en la condición hídrica se va a limitar primero el rendimiento por planta que la respuesta a la población (Figura 2)

La información más actual para siembras de segunda presenta resultados algo contradictorios. El aumento de plantas/ha no reflejó en un aumento del rendimiento,

explicado principalmente por: la compensación del número de grano/panoja (Algorta y Carcabelos, 2007), panojas/m² y número de granos/panoja bajo condiciones de agua limitantes (García et al., 2007) y el número de panojas/planta sin limitante hídricas importantes (Schaffner y Sprunk, 2009).

Figura 2. Efecto de la población en el rendimiento



Fuente: Ernst¹

Por lo tanto, con distancias entre hileras no mayores a 50 cm y poblaciones en el entorno a las 300.000 plantas/ha, nos estarían colocando en el escalón de mayor potencial de rendimiento. Existe la posibilidad de reducir el número de plantas/ha por una considerable producción de los macollos, reflejado en el número de panojas/ha y en el número de granos/panoja. Ello se debe al incremento del tamaño de las panojas en comparación con las obtenidas en los 70' y 80', ya sea por un factor genético o por mejoras en el manejo.

3. Cultivar

Como todo cultivo de verano antes de la elección del cultivar es importante realizar una adecuada selección y preparación de chacra, control de maleza, época de siembra y fertilización (Irigoyen y Perrachon, 2007).

Las consideraciones a tener en cuenta para elegir un buen cultivar de sorgo granífero adecuado para un sistema determinado de producción son:

- a) Ciclo:
 - Requerimiento de unidades térmicas
 - Fotoperíodo (no es muy relevante en sorgo)
 - Tasa de Crecimiento
- b) Tipo de planta
- c) Resistencia genética

4. Nutrientes

Para nuestras condiciones, la respuesta en el cultivo de sorgo es principalmente a la aplicación del nitrógeno seguido por el fósforo aunque nutrientes como potasio y azufre están siendo necesarios en sistemas erosionados y de continua extracción sin aporte de éstos.

Cuadro 1. Necesidad del cultivo de nutrientes para tres diferentes rendimientos

Rendimiento	N	P	K	S
kg ha^{-1}				
3000	73	11	50	9
6000	145	21	101	18
9000	218	32	151	27

Fuente: IPNI (2007)

Cuadro 2. Extracción de nutrientes por el grano de Sorgo

Rendimiento	N	P	K	S
kg ha^{-1}				
3000	48	9	9	5
6000	96	17	19	10
9000	144	26	28	16

Fuente: IPNI (2007)

El efecto de estos nutrientes esta muy relacionado a la historia de la chacra y condicionado por el control de malezas y las características del año (Ernst y Siri, 2004).

En las primeras etapas del cultivo, la disponibilidad nutricional debe de ser suficiente como para permitir alcanzar el IAF crítico al inicio del período en el que se determina el número de grano por unidad de superficie. A partir de este momento, la disponibilidad del nutriente debe de acompañar la demanda de manera tal de no limitar la tasa de crecimiento del cultivo. Durante el llenado de los granos, el suministro de nutrientes no debe limitar la duración del IAF ni la calidad deseada del grano (Echeverría y García, 2005).

Desde el punto de vista nutricional, el fósforo es esencial para un crecimiento inicial vigoroso de las raíces y de la parte aérea, además de ser necesario para el almacenamiento y transferencia de energía en la planta, así como para adelantar la madures y la reducción en la humedad del grano a la cosecha (Irigoyen y Perrachon, 2007). La probabilidad en un cultivo de sorgo de encontrar respuesta por encima de 12-13 ppm de P_2O_5 en el suelo es baja. Otros autores (Ernst y Siri, 2004) indican que por encima de 15 ppm P_2O_5 no se esperaría respuesta al agregado de fósforo.

C. NITROGENO. RESPONSABLE DEL RENDIMIENTO

1. Función del N en la planta

El N cumple funciones vitales dentro de los seres vivos, encontrándose dentro de las plantas tanto en forma orgánica como inorgánica. Esta última en realidad es de escasa magnitud, siendo principalmente el NO_3^- la única forma inorgánica capaz de ser almacenada. Por lo tanto, dentro de la planta la mayoría del N se encuentra en forma orgánica. Este nutriente juega un rol esencial en el crecimiento del vegetal, ya que es constituyente de moléculas como: i) clorofila; ii) aminoácidos esenciales; iii) proteínas; iv) enzimas; v) nucleoproteínas; vi) hormonas; vii) trifosfato de adenosina (ATP). Además, el N es esencial en muchos procesos metabólicos, como por ejemplo, la utilización de los carbohidratos (Perdomo y Barbazán, 1999).

En condiciones de baja disponibilidad de N, el crecimiento del cultivo se resiente debido a una menor intercepción de la radiación incidente y en menor medida, por la reducción de la fotosíntesis (Etcheverría y García, 2005). Ocurre una disminución de la división y expansión celular, por lo cual se reduce el crecimiento, las hojas inferiores se tornan amarillentas y posteriormente mueren, las yemas laterales mueren o quedan en reposo y se reduce la floración (Fink, Marschner, Brown, Fisher y Epstein, citados por Etcheverría y García, 2005).

2. Absorción y translocación del N

Los iones, como NO_3^- alcanzan la zona de absorción de la raíz por difusión a través de la solución salina del suelo. Ellos son arrastrados por el movimiento del agua hacia la raíz o entran en contacto con las zonas de absorción a medida que la raíz crece. Los nutrientes minerales se distribuyen por toda la planta a través del xilema, impulsados por la corriente ascendente de agua que genera el flujo de la transpiración (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Las plantas pueden absorber N como NO_3^- o NH_4^+ . Como en la mayoría de los suelos las condiciones permiten la acción de las bacterias nitrificantes, normalmente la mayoría de los cultivos absorben la mayor parte de su N como NO_3^- . Algunas plantas, como por ejemplo los cereales, absorben N independientemente de la forma en que éste se encuentre, mientras que otras parecen haberse adaptado a una forma determinada de N. Existen trabajos que indican que algunas plantas agrícolas crecen mejor si se les suministra una mezcla de NH_4^+ o NO_3^- . En especial se ha detectado que algunas plantas no sólo pueden producir mayor nivel de rendimiento sino también mayor nivel de proteína. En la literatura aparecen ejemplos de esta respuesta positiva a ambas fuentes en cultivos de maíz y trigo (Perdomo y Barbazán, 1999).

3. Respuesta al agregado de nitrógeno

La poca reacción del cultivo al nitrógeno que se observa al mes de crecimiento y la importancia de la absorción del mismo en la etapa en la que se define un tamaño potencial de panoja, lo cual determinará el número de flores que se constituirán en granos, hacen que sea éste período - desde la iniciación floral a la floración -, el más eficiente en la aplicación de fertilizante nitrogenados. Para nuestras condiciones dicha etapa comienza a partir de V5 y V6 como ya se mencionó anteriormente.

A partir de esta etapa y hasta días previos a la floración el cultivo toma alrededor de un 70% de los nutrientes requeridos “(Bernardis et al. s.f., INTA 2002).

Según Roy y Wright (1973), para cosechar un sorgo de muy buena calidad es esencial aplicar la cantidad adecuada de N y P a lo largo de la temporada de crecimiento, especialmente antes y durante los períodos de rápida acumulación de materia seca.

El aporte tardío de nitrógeno (V6) también nos permite mejorar la competencia del cultivo frente a las malezas ya que estas no disponen del nutriente para su crecimiento inicial, el cual normalmente supera al del sorgo. En cambio, la relación de competencia se invierte en el período de crecimiento lineal del cultivo por las elevadas tasas de crecimiento y rápida cobertura del suelo (Ernst y Siri, 2004)

Las chacras donde se instala el cultivo, ya sea bajo una mala cama de siembra, o sobre suelos erosionados o deficientes en nutrientes por la continua extracción sin reposición, presentan un nivel de respuesta al agregado de nitrógeno mayor que chacras sin estas características.

Estudios de Elhordoy y Forteza, citados por Carrasco (2004) mostraron una mayor repuesta al agregado de nitrógeno en condiciones de enmalezamiento medio y alto, tanto al agregar 40 como 80 kg ha⁻¹.

Kegode et al. (1994) encontraron respuestas al agregado de N para cuatro niveles de infestación de sorgo de alepo tanto en el peso, contenido de proteína y rendimiento en grano.

a. Respuesta en el rendimiento en grano

La respuesta en el rendimiento en grano por el agregado de nitrógeno ha sido publicada por varios autores para diferentes situaciones de suelo y ambiente. Estudios realizados en Centro America (Castaneda Chavez et al. 2006, García et al. 2007, Calderón Chinchilla et al. 2008), Norte America (Hanson et al. 1988, Lamond et al. 1991, Buah et al. 1998, Khosla et al. 2000), Turquía (Turgut et al., 2005), India (Roy y Wright 1973, Hugar et al. 2010) y Australia (Muchow 1990, Kamoshita et al. 1998) han demostrado este efecto. Tanto el tipo de respuesta encontrado, como la dosis óptima de N agregado dependieron de cada sitio en particular, demostrando así, la importancia de encontrar para nuestras condiciones la mejor respuesta en el rendimiento al agregado de N.

A continuación (Cuadro 3), se presenta un resumen de la información nacional en los últimos 25 años sobre ensayos de fertilización nitrogenada en diferentes condiciones climáticas y tipos de chacras.

Cuadro 3. Resumen de información de ensayos con fertilización nitrogenada en los últimos años en Uruguay

Autor	Chacra	Año	Respuesta (kg grano/kg)		
			1	2	X
Marchesi y Gutierrez	1977 (*)		bueno	25	
CIAAB	1972-1975 viejas		19	13	
Carrasco	s/p vieja		bueno	30	16 24
Carrasco	s/p nueva		bueno	18	13 15
Arias y Boggio	1987 pradera		seco	18	
Elordoy y Forteza	1986 nueva		bueno	11.5	
Ghiselini y Holtz	1985 vieja		seco	12	
Torres	1996 vieja		seco	25	5

(*) relevamiento de 25 chacras.

1. primeras 30-40 unidades de nitrógeno

2. mas de 40 unidades de nitrógeno

x. media.

Fuente: Ernst y Siri (2004b).

Independientemente del año y de la historia de chacra, el efecto al agregado fue positivo hasta 30-40 unidades/ha. No parece haber respuesta en fertilizar por encima de las 40 unidades según Carrasco en chacra vieja; Carrasco en chacra nueva; Torres sobre chacra vieja (Ernst y Siri, 2004b). Esta información coincide con la presentada por García et al. (s.f.) para una variedad de ciclo corto en la provincia del Chaco - Argentina, obtuvieron la máxima respuesta cuando se aplicaron 30 unidades, 18 kg grano/kg N.

Zamora et al. (s.f.) en el cono sur de la provincia de Buenos Aires observaron respuestas significativas en la fertilización en sorgo a partir de 60 kg/ha de nitrógeno, aunque con 30 unidades existió el máximo uso de este nutriente el cual fue de 33 kg de grano/kg de N. Dos años antes, en la zafra 07/08 el mismo autor (Zamora et al., s.f.) para un promedio de tres sitios encontró respuestas de 349, 1027, 1320 y 1708 kg de grano/ha para dosis de 30, 60, 90, 120 kg de N/ha. Con una eficiencia en fertilización entre 11 y 17 kg grano/kg N.

Bernardis et al. (s.f.) - en trabajos realizados en Corrientes con diferentes densidades de siembra y distancias entre hileras - encontró que la respuesta del cultivo de sorgo se incrementó hasta 90 kg/ha de N aplicado, y a partir de ahí no hubo respuesta. Dicho autor adjudica las condiciones de deficiencia hídrica como la posible causa que explicó el poco efecto en fertilizar por encima de los 90 kg.

Hasta el momento, es escasa la información acerca del efecto del nitrógeno en los componentes del rendimiento. Kamoshita et al. (1998) presentó tanto para condiciones de riego como de secano en Queensland Australia, un efecto significativo ($p < 0.01$) sobre el número de panojas/m². En cuanto al número de granos/m² la respuesta se vio solo en el experimento con riego. El tamaño de grano no mostró un considerable efecto al agregado de N.

En una investigación llevada a cabo en India por Hugar et al. (2010), se encontró un efecto en el peso/panoja y peso de grano/panoja, aunque no obtuvo respuesta en el peso de 1000 granos al agregado de N. Para 13 genotipos de sorgo, Buah et al. (1998) en Nebraska, Estados Unidos, tampoco encontraron respuestas al peso de 1000 semillas por el agregado de fertilizante nitrogenado.

b. Respuesta en la concentración de N en grano

La calidad del grano de sorgo esta representada en gran parte por su contenido proteico, el cual se obtiene a partir de la concentración de nitrógeno en dicho grano.

Hay un gran número de investigaciones que muestran una variada respuesta de la concentración de nitrógeno en grano ante el incremento en la dosis de N aplicada, bajo diferentes características de suelo y ambiente.

Lamond et al. (1991) observó un efecto positivo en la concentración de N en grano al agregar 100 bu/acre de N en comparación al testigo y al agregado de 50 bu/acre en ensayos realizados durante 1986, 1987 y 1988 en Kansa-Estados Unidos. En otros experimentos realizados por el mismo autor durante 1987, 1988, 1989 en otra localidad de Kansas-Estados Unidos, mostraron el mismo efecto, excepto para el último año donde las respuestas no fueron significativas al agregado de N.

En cuatro localidades de El Salvador, Calderón Chinchilla et al. (2008) observaron un incremento de 0.3 % en la concentración de N en grano al agregar 21 kg de N ha⁻¹.

En los ensayos realizados por Kamoshita et al. (1998) para dos regímenes hídricos en Queensland, Australia, mostraron bajo riego una baja concentración a 0 y 60 kg N ha⁻¹, aumentando a 240 kg N ha⁻¹ y presentando valores de 1.09, 1.08 y 1.86 % N en grano respectivamente. Bajo las condiciones de secano las diferencias existieron de 0 a 60 y de 60 a 240 kg N ha⁻¹ mostrando valores de N en grano de 1.57, 1.92 y 2.64 % para 0, 60 y 240 kg ha⁻¹ respectivamente.

En el norte de Australia, Muchow (1990) encontró respuestas en la concentración de N en grano en siembras de febrero bajo condiciones de secano a 60 kg ha⁻¹ y 240 kg ha⁻¹ de N y bajo riego a partir de 240 kg ha⁻¹. Para el mismo año, el autor, en siembras de

agosto no obtuvo respuestas al agregado de fertilizante N para ambas condiciones de disponibilidad hídrica.

La falta de respuesta en la concentración de N en grano por el incremento de la fertilización nitrogenada también fue publicada por García et al. (s.f.) en Nicaragua para cuatro variedades de sorgo, mostrando que para las dosis 0, 30, 60 y 90 kg N ha⁻¹ se obtuvo una concentración en grano de 1.37, 1.22, 1.27 y 1.37 % respectivamente.

4. Respuesta a la fuente de N agregado

La fuente de nitrógeno agregado al suelo variará en las reacciones que sufrirá y las formas en que este nutriente se encontrará en el suelo, así como los posibles procesos que puede sufrir el mismo con el tiempo. Ello estará afectando la concentración que realmente estará disponible para la planta.

Cuadro 4. Características de las diferentes fuentes de Nitrógeno utilizadas en la investigación.

Fertilizante	Abreviatura	F. Amónica	F. Nítrica	Estado	Con Azufre
Urea	Nu	46%	-	Sólido	-
Sulfato de Amónio	Nu-S	21%	-	Sólido	24%
SOLMIX	N-M	21%	7%	Líquido	5,6%
UAN	N-UAN	22,5%	7,5%	Líquido	-
Nitrato de Amónio	N-NA	17%	17%	Sólido	-

La fuente utilizada va a determinar la relación de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de la solución aplicada (cuadro 4) así como el estado líquido o sólido del fertilizante. Estas dos características van a afectar en el comportamiento del fertilizante en el suelo y por consiguiente la utilización de éste por parte del cultivo.

Es importante mencionar el comportamiento que tiene una fuente amoniacal en comparación con una fuente nítrica, ya que una vez incorporadas al suelo van a estar determinando la eficiencia de cada una de ellas en concretar el rendimiento.

Tanto las fuentes amoniacaes como nítricas utilizadas contienen como se mostró anteriormente un porcentaje de N bajo la forma de NH_4^+ , lo que las diferencia es el porcentaje de N- NO_3^- que contenga dicho fertilizante.

a. Disponibilidad para las plantas

El modo más importante de absorción del nitrógeno por la planta de sorgo es bajo la forma de nitrato. Por lo tanto, fuentes que al momento de ser aplicadas permitan un porcentaje de NO_3^- disponible para la plantas, van a estar acelerando la velocidad a la cual pueda utilizar dicho nutriente la planta. Por lo que este aspecto puede ser considerado de suma importancia cuando se realiza una fertilización en estado V6, momento que comienza la mayor demanda de N por la planta. Principalmente en suelo seco y con alta demanda, las fuentes que contienen un porcentaje del fertilizante bajo la forma de nitrato son más eficientes en el tiempo en que es utilizado por la planta. Ello se ve reflejado muchas veces en el rendimiento final en grano. Aplicaciones en estas condiciones de fuentes netamente amoniacales como la urea llega tarde en la concreción de rendimiento.

En una investigación llevada a cabo en Nebraska-Estados Unidos por Traoe y Maranville (1999), probaron que al aumentar el NH_4^+ en solución, la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ disminuye la producción de materia seca total y altera su partición entre la fuente y la fosa (grano de sorgo). El contenido total de N y el uso eficiente de éste también disminuyó con origen mixto del N.

La temperatura es un factor clave que afecta la nitrificación. Según varios estudios realizados por diferentes universidades de EEUU, el rango de temperatura dentro del cual se da la nitrificación es entre 16 y 30° C (Caresani y Juanicotena, 2008). Los suelos bien drenados también favorecen a que este proceso se lleve a cabo (Traoe y Maranville, 1999)

b. Pérdida de NH_4^+ por volatilización

El nitrógeno, en los primeros centímetros del suelo puede perderse bajo la forma de NH_3 , por un proceso llamado volatilización. Esta forma de nitrógeno es frecuentemente consecuencia de la reducción del NH_4^+ por procesos abióticos como la temperatura y la humedad. Por lo tanto, cuanto mayor sea la proporción de NH_4^+ en el fertilizante mayor va a ser la probabilidad de que el N agregado se pierda por este proceso de volatilización, si las condiciones ambientales lo disponen.

Para Echeverría y García (2005) las pérdidas por volatilización son máximas cuando el contenido de humedad del suelo esta a capacidad de campo y cuando el mismo se seca lentamente, dado que el secado del suelo aumenta la concentración de NH_4 en la solución. Según Chavallier y Toribio (2006), a mayor temperatura más rápido será el pasaje de amoníaco disuelto en la solución del suelo a amoníaco en el aire.

Experiencias en la región pampeana Argentina, Fontanetto y Keller (2006) en el cultivo de Maíz, donde evaluaron diferentes fuentes de N y su forma de aplicación,

encontraron la más baja respuesta en las fertilizadas con Urea con relación a UAN y UAN plus justificado por la ocurrencia de volatilización según lo expusieron dichos autores.

c. Pérdida de NO_3^- por lixiviación

El ión NO_3^- es muy soluble y no es adsorbido por los coloides del suelo, lo que lo hace altamente móvil en suelos con predominancia de carga neta negativa. En consecuencia, dicho ión está sujeto a elevada pérdida por lavado cuando la concentración del mismo y el movimiento de agua a través del perfil son elevados (Echeverría y García, 2005). Por lo que si las condiciones son de lluvia excesiva, se da la lixiviación del nitrógeno como nitrato (Tisdale y Nelson, 1970). Este proceso aumenta las probabilidades de pérdida del N al aplicar en el suelo fertilizante con proporciones considerables bajo forma de nitrato, pues precipitaciones importantes luego de la fertilización pueden llevar al N en profundidad, tornándose no disponible para las plantas.

Los suelos poseen diferente susceptibilidad a la lixiviación de nitratos, siendo usualmente más elevada en los de textura gruesa (Lavado y Rimski-Korsakov, s. f.).

d. Pérdida de NO_3^- por desnitrificación

En condiciones de anegamiento, los microorganismos utilizan el O_2 del NO_3^- y respiran N_2 el cual se pierde en la atmósfera. No se han encontrado justificaciones de las pérdidas por este proceso en el cultivo de sorgo; ello es entendible, si consideramos la evapotranspiración y las precipitaciones que ocurren en verano.

III. MATERIALES Y METODOS

El trabajo a campo se realizo durante los meses de noviembre y diciembre de 2009 y marzo y abril de 2010: instalación de los experimentos, fertilización de parcelas según tratamiento y cosecha.

A. CARACTERIZACION DE LAS NUEVE LOCALIDADES

En 9 sitios representativos (asociaciones de suelos) de la Cuenca Lechera Sur (predios de productores), se instalarán ensayos de fertilización de N en el cultivo de sorgo granífero.

1. Ubicación de los experimentos

Cuadro 5. Ubicación de los experimentos

Sitio	Departamento	Paraje	Ruta (km)	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
1	San Jose	-	1 (90)	34°29'11.79"S	57° 0'21.01"O
2	Florida	Chamizo	6 (10)	34° 8'23.03"S	55°56'18.83"O
3	San Jose	-	1 (88)	34°26'31.23"S	56°55'49.97"O
4	San Jose	-	3 (73)	34°30'24.80"S	56°44'8.46"O
5	San Jose	-	1 (46)	34°40'03.97"S	56°34'41.70"O
6	San Jose	Punta de Valdez	1 (65)	34°35'40.32"S	56°41'52.92"O
7	Florida	Reboledo	7 (129)	33°57'13.24"S	55°37'9.83"O
8	Maldonado	-	9 (150)	34°46'10.58"S	54°43'51.13"O
9	Lavalleja	Villa del Rosario	12 (317)	34°18'32.01"S	55°29'51.80"O

2. Características descriptivas del suelo al inicio del ensayo según localidad

Con el fin de centrarnos en el objetivo de esta investigación y facilitar la interpretación de los resultados, se le asignó a cada localidad, un número de sitio, en un orden alfabético:

- Sitio 1: Pedro Artagaveytia
- Sitio 2: J García (Colonia 33)
- Sitio 3: Alfredo Espínola
- Sitio 4: Gustavo Fernandez
- Sitio 5: IPB
- Sitio 6: Estación Prueba -Kiyú
- Sitio 7: Pablo Marquez
- Sitio 8: Jorge Noguéz
- Sitio 9: Perdomo & Viroga & Varela --"Villa del Rosario"

Se realizaron las siguientes determinaciones de suelo por dos razones; caracterizar el suelo donde se arman los ensayos y para que la ley del mínimo no actúe como ruido en esta investigación.

Cuadro 6. Características descriptivas de los suelos para los 9 ensayos

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9
pH _{H2O}	5,3	6,0	5,7	5,4	5,4	5,3	5,0	5,3	6,3
pH _{KCl}	4,6	4,8	5,0	4,8	4,9	4,7	4,7	4,6	5,5
P (ppm)	38	38	10	21	51	25	22	3	5
K*	0,75	0,40	0,58	0,56	0,68	0,61	0,50	0,56	0,38
Na*	0,35	0,59	0,64	0,42	0,55	0,60	0,42	0,68	1,11
Ca*	8	9	13	12	7	11	11	3	11
Mg*	2	3	5	4	2	4	4	2	5
M.O. (%)	5,2	5,6	4,2	4,8	4,0	5,7	5,2	3,7	2,0
T. de suelo ^o	Pl	Br	Br	Pl	Pl	Br	Ve	Ar	Br
Textura+	Fr.L.l	Ac.Fr.G v	Fr.L. p	Fr.Ac. L	Fr.L. l	Fr.Ac. L	Fr Ac	Ar.L.G v	Fr.Ac. L
Unidad	Ky	SG-G	IM	Ky	Ky	Ky	SG-G	S.C	TT-Rd

* meq/100g suelo.

^o Br: Brunosol, Pl: planosol, Ve: vertisol, Ar: argisol.

+ Ac: arcilla, L: limo, Ar: arena, Fr: franco, Gv: gravilla, l: liviano, p: pesado.

3. Manejo realizado al cultivo según localidad

Por tratarse de un experimento que se realiza en predios comerciales hay variables sobre las que no se controla, las cuales las decide el productor de cada predio.

Cuadro 7. Manejo del cultivo según sitio previo a la instalación del ensayo

Sitio	Cultivo anterior	Manejo entre cultivo anterior y siembra	Fertilización del productor	Fecha siembra (2009)	Variedad
1	Rg	SD c/herbicida	A la siembra 100 kg 18-46-0	25-26 nov.	FLASH 1
2	Rg-fest.+Trojo Predominio Rg	Conv., c/herbicida	A la siembra 85 kg 20-22-12 + 50 kg Urea	20 nov.	FLASH 1
3	Barbecho, c/rastrojo Sorgo	SD c/herbicida	A la siembra 80 kg Urea en el surco	15 oct.	Nehuen INTA Peman (Arg.)
4	Barbecho, c/rastrojo Sorgo granífero	Conv., c/herbicida	A la siembra 100 kg 18-46-46- 0	25 nov.	FLASH 1
5	Sorgo/Trigo, luego quemado	SD c/herbicida previo siembra	A la siembra 150kg Fosfato diamónico	29 oct.	FLASH 10
6	Barbecho, c/rastrojo Sorgo	SD s/herbicida	A la siembra 70 kg/há 18-46- 0	10 nov.	ACA 558
7	Chacra nueva	SD s/herbicida	A la siembra 80 kg. de 18-46- 0	15 nov.	DK 61
8	Campo Natural	SD en cobertura sobre CN	A la siembra 140 kg 18-46-0	30 nov.	Jowar Food
9	Chacra vieja	Conv., c/herbicida	A la siembra 150kg 7-40-0	20 nov.	Aca 558

B. MEDICIÓN

Se midieron 3 variables tanto para dosis crecientes de nitrógeno como para diferentes fuentes de N a una misma dosis de 40 kg ha⁻¹. Estas fueron respuesta en rendimiento en grano, concentración de N en dicho grano y en el número de panojas/m².

C. TRATAMIENTOS

1. Dosis crecientes de nitrógeno

Las aplicaciones se realizaron durante el estado fenológico V6, estas consistieron de una parcela con 0 Urea como testigo, 40, 80 y 120 Kg de N ha⁻¹ en forma de Urea (Cuadro 6).

2. Diferentes fuentes de nitrógeno

Estas aplicaciones se realizaron al mismo momento (V6) y consistió de 5 tratamientos, donde se busco comparar las fuentes de nitrógeno (N), a una misma dosis de 40 kg ha⁻¹

- 46 % de N bajo la forma amoniacal, Urea (Nu)
- 30 % de N bajo la fuente liquida de nitrato de amonio (UAN)
- 28 % de N y 5.6 de azufre (S) bajo la fuente liquida de Solmix (M)
- 34 % de N como fuente sólida de nitrato de amonio (NA),
- 21% de N y 24 % de S bajo la fuente, Sulfato de Amonio (NA).

Cuadro 8. Tratamientos utilizados

Tratamiento	Dosis N (kg.N ha-1)	Dosis S (kg.S ha-1)
Testigo	0	0
40N U	40	---
80N U	80	---
120N U	120	---
40N NA	40	---
40N UAN	40	---
40N M + S	40	8
40N NH4 + S	40	12

D. DISEÑO EXPERIMENTAL

En las nueve localidades, el diseño experimental consistió en un Diseño de tres Bloques Completamente al Azar debido a que las unidades experimentales no eran homogéneas, con 8 parcelas, con un tamaño por parcela de 5 filas de cultivo (ancho) por 6 m de largo.

E. PROCEDIMIENTO A CAMPO

Luego de instalar el ensayo, se hizo un muestreo de suelo a 20 cm de 10 muestras sacadas al azar por cada bloque.

Posteriormente durante la etapa V6 del cultivo, se realizó un segundo muestreo (antes de aplicar los fertilizantes en cada parcela) el cual consistió de 10 muestras al azar en la fila y 10 muestras al azar en la entrefina de cada bloque. Luego se cortaron 20 plantas al azar por bloque y se continuó con la fertilización de las parcelas con sus respectivos tratamientos.

Al momento de la cosecha se cortaron 3 filas por 2 metros a no ser en dos localidades que se cortaron 2 filas por haber sido plantadas a 70 cm. Y luego se contaron los tallos con la panoja cortada.

Cuadro 9. Manejo del cultivo por sitio durante el ensayo

Sitio	Fecha instalación	Tamaño Parcela	Distancia entre hileras	Fecha V6 Fertilización	Fecha cosecha
1	08/12/2009	6 m x 8 filas	40 cm	28/012/09	22/03/2010
2	03/12/2009	6 m x 3.2 m	20 cm	28/12/2009	09/03/2010
3	08/12/2009	6 m x 8 filas	40 cm	28/12/2009	10/03/2010
4	15/12/2009	6 m x 3.10m	35 cm	28/12/2009	06/04/2010
5	26/11/2009	6 m x 5 filas	70 cm	21/12/2009	15/03/2010
6	26/11/2009	6 m x 8 filas	40 cm	21/12/2009	10/03/2010
7	03/12/2009	6 m x 8 filas	40 cm	28/12/2009	09/03/2010
8	10/12/2009	6m x 3.10m	34 cm	29/12/2009	06/04/2010
9	10/12/2009	6 m x 5 filas	70 cm	29/12/2009	16/03/2010

(*) - Marcado del sitio experimental. Muestreo de suelos (0-20 cm) y fertilización con P y K.

F. DETERMINACIONES

1. Determinaciones a la instalación del ensayo

a. Análisis de suelo

Del muestreo realizado al inicio del experimento se determinó para cada bloque por localidad el contenido de % de MO, Fósforo, pH y Bases de Intercambio. A continuación se especifica los métodos de análisis que se utilizaron para determinar el contenido de estos nutrientes.

El pH se determinó en H₂O y en KCl. Se agregaron 25 ml de H₂O a cada muestra de suelo, se agitaron por 5 minutos y se dejó reposar por 20 minutos. Luego se calibró el electrodo con soluciones de pH conocido y se midieron las muestras. Para el valor en KCl se repitió el procedimiento con 25 ml de KCl (Mc Lean 1982, Thomas 1996).

Para la determinación de bases intercambiables se realizó una extracción de 2.5 g de suelo en 25 ml de acetato de amonio (1M a pH 7), se agitó por 5 minutos y se filtró (Whatman No.1). Posteriormente se leyeron los valores de Ca y Mg por espectrofotómetro de absorción atómica y K y Na por espectrofotómetro de emisión (Haby et al. 1990, Helmke y Sparks 1996, Suarez 1996, Wright y Stuczynski 1996).

El contenido de fósforo fue determinado mediante el método Bray No.1 (Fixen y Grove 1990, Kuo 1996). Se realizó una dilución con solución extractiva bray No.1 de 1:7 y se leyeron los valores de absorbancia a 660 nm.

El % de MO se obtuvo por el método Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1996).

2. Determinaciones a estado fenológico V6

A partir del muestreo en V6, se analizó el contenido de NO₃⁻ en suelo y el contenido de NO₃⁻ en planta.

a. Nitrato en suelo

Para determinar el NO₃⁻ en suelo se utilizó el método de análisis colorimétrico por reducción con cadmio cuperizado (Fritz y Schenk 1989, Mulvaney 1996). Para la preparación del extracto se agitó durante 30 minutos 5 g de cada muestra en 50 ml de KCl 2M seguido de un filtrado con Whatman No.2. Se midió la absorbancia a 540 nm.

b. Nitrato en planta

Se utilizó el método colorimétrico de Cataldo et al. (1975) con modificación de los volúmenes: una dilución (en H₂O) de 50 veces, 2 ml de ácido salicílico al 5% (p/v) en H₂SO₄ y luego de 20 minutos se agregó 25 ml de NaOH 4 M. Se midió la absorbancia a 410 nm.

3. Determinaciones a cosecha

a. Nitrógeno en grano

El contenido de nitrógeno en grano se analizó por una modificación del método kjeldahl (Jones y Case, 1990) luego de la mineralización del material con H₂SO₄ concentrado a 350° C durante 2 horas.

b. Número de panojas cosechadas

Se realizó un conteo de los tallos a los que se les cortó la panoja y posteriormente se calculó el número de panojas/m².

c. Contenido de materia seca en grano

Se determinó mediante la diferencia entre peso seco y húmedo, para ello se molieron las panojas por parcela, se pesaron en balanza electrónica, se llevaron a horno a 60° C durante 48 horas y se volvieron a pesar en balanza electrónica.

d. Rendimiento en grano

Se pesaron las panojas, se corrigieron por el % de materia seca y considerando el área cosechada se llevó el valor a ha⁻¹.

G. ANALISIS ESTADISTICO

Para determinar la respuesta de las dosis en el rendimiento y en la concentración de N en grano se ajustaron regresiones lineales y cuadráticas mediante el software estadístico SAS y se determinaron diferencias entre los tratamientos mediante intervalos de confianza.

Para determinar la respuesta de la dosis en el N absorbido por el grano y en el número de panojas/m² así como para determinar la respuesta de las diferentes fuentes a dosis 40 kg ha⁻¹ en el rendimiento, concentración de N, N absorbido y en el número de

panojas/m² se realizó un DBCA. Se realizaron comparaciones utilizando el test LSD con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.10$.

Para el estudio de las interacciones entre NO_3^- en suelo y el rendimiento y NO_3^- en planta y el rendimiento se realizaron correlaciones mediante el método de Pearson.

Para realizar los análisis de varianza y de correlación se utilizó el software estadístico InfoStat versión estudiantil (2010).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Esta sección esta dividida en tres partes, primero una caracterización climática en que se desarrollaron los cultivos, luego un análisis para cada uno de los sitios y por último una comparación y unión de información entre ellos.

A. CONDICIONES CLIMATICAS

El factor año es una variable más en la investigación a campo a largo plazo. Por ello se analizó el comportamiento de dos parámetros climáticos (lluvia y temperatura) durante el período que abarcó el ciclo del cultivo, en relación a su proyección histórica.

1. Precipitaciones

Las precipitaciones diarias para los meses del cultivo fueron suficientes para satisfacer las demandas en los nueve sitios evaluados (Cuadro 10). Se consideró que todas las precipitaciones fueron efectivas o sea que, todas las lluvias pudieron haber sido potencialmente evapotranspiradas.

En todos los casos, presentaron valores por encima de los 450 mm de precipitación total, valor a partir del cual el rendimiento se haría independiente de la evapotranspiración total (Cuadro 10). Por lo que la distribución de las precipitaciones pasaría a ser el potencial problema en el consumo por parte del cultivo.

Las lluvias acumuladas para el período entre la siembra y estado V6 resultaron para 8 de los 9 sitios por encima de 75 mm de agua, nivel aproximado a partir del cual no sería limitante el agua en generar el potencial de rendimiento. El sitio 8 fue el único que no llegó al nivel esperado a V6 aunque es importante puntualizar que cuatro días después cayeron 35 mm por lo que no podríamos adjudicar a las precipitaciones como limitantes para este sitio (Cuadro 10).

Cuadro 10. Balance de las precipitaciones durante el cultivo para los nueve sitios experimentales

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9
Fecha de siembra	25-oct	20-nov	15-oct	25-nov	29-oct	10-nov	15-nov	30-nov	20-nov
Fecha a V6	28-dic	28-dic	28-dic	28-dic	21-dic	21-dic	28-dic	29-dic	29-dic
Precipitaciones S-V6 (mm)	245	130	255	107	245	128	213,3	50	126
Fecha a floración*	14-ene	01-feb	09-ene	05-feb	16-ene	25-ene	28-ene	09-feb	01-feb
Precipitaciones S-F (mm)	316	271	294	379	363	285	328	300	242
Fecha a cosecha	22-mar	09-mar	10-mar	06-abr	15-mar	10-mar	09-mar	16-mar	06-abr
Precipitaciones F-C (mm)	321	435	313	120	281	242	461	114	406
Total (mm)	637	706	607	499	597	527	789	414	648

Fuente: URUGUAY. MDN. DNM².

Según Ernst¹ adaptado de Kesse el consumo de agua hasta embuche y floración está entre 170 – 220 mm considerando una reserva de agua de entre 100 y 150 mm. Dicho valor es esperable si consideramos que los suelos del país tienen alta probabilidad de estar a capacidad de campo o cercanos a ella hasta octubre (Corsi, 1982). Según Carrasco (2004) hasta floración el consumo ronda entre 150 y 200 mm de agua. Los nueve sitios presentaron precipitaciones superiores al consumo esperable por el cultivo hasta floración (Cuadro 10).

Los sitios 1, 3, 4, 5 y 6 tuvieron aproximadamente 200 mm de lluvia en la primera semana de febrero (Cuadro 10). Por lo que si consideramos que el cultivo de sorgo puede ser afectado por excesos de agua mayores a 100 mm en la maduración (Carrasco, 2004), el sitio 3 pudo haber sido el más afectado debido a estar más avanzado en su ciclo.

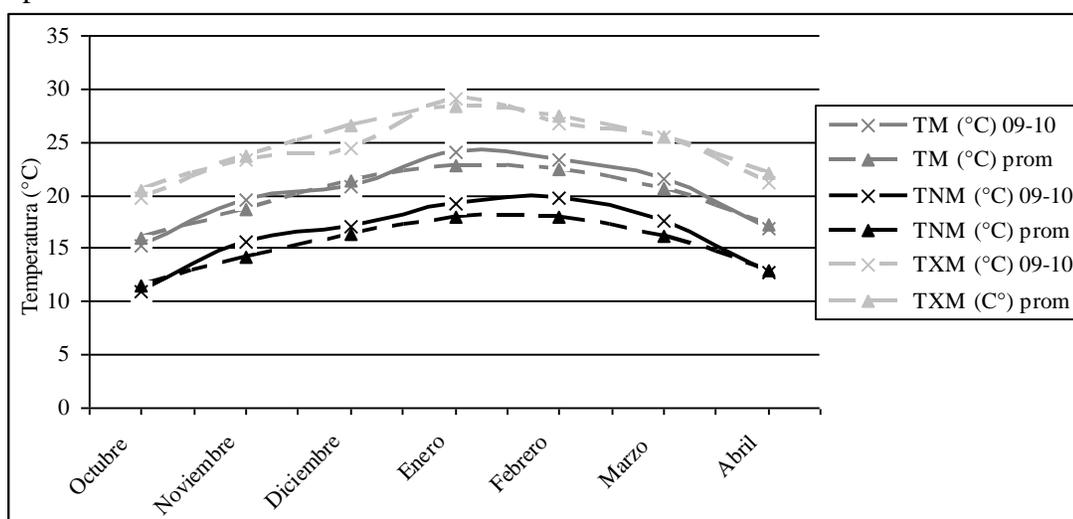
² URUGUAY. MDN. DNM. 2011. Datos de precipitación de cuatro pluviómetros registrados durante 2009-2010 y datos de temperatura media, máxima media y mínima media (período del 1961-1990).

2. Temperatura

Las temperaturas medias durante el cultivo fueron similares a las registradas en el promedio histórico

A mediados de Octubre fue sembrado el primer sitio experimental de esta zafra (Figura 3) la temperatura promedio ya estaba cercana al óptimo de siembra y la temperatura mínima promedio por encima de 10°C (valor mínimo de germinación). El resto de los cultivos se sembraron en noviembre, en óptimas condiciones de temperatura.

Figura 3. Comparación de la temperatura media, temperatura mínima media y temperatura máxima media entre el período 2009-2010 con el registro histórico promedio



Fuente: URUGUAY. MDN. DNM².

La temperatura media y la máxima y mínima media para el mes de enero fueron aproximadamente 1°C más que el promedio histórico. Para el mes de febrero la amplitud térmica fue menor que la registrada en el promedio histórico, lo que se puede ver en teoría como un leve aumento en la evapotranspiración y una leve disminución en la tasa de crecimiento en comparación con el promedio histórico.

A pesar de lo comentado anteriormente, Carrasco (2004) describe que las temperaturas predominantes en verano para Uruguay se encuentran dentro de la zona de máxima respuesta biológica.

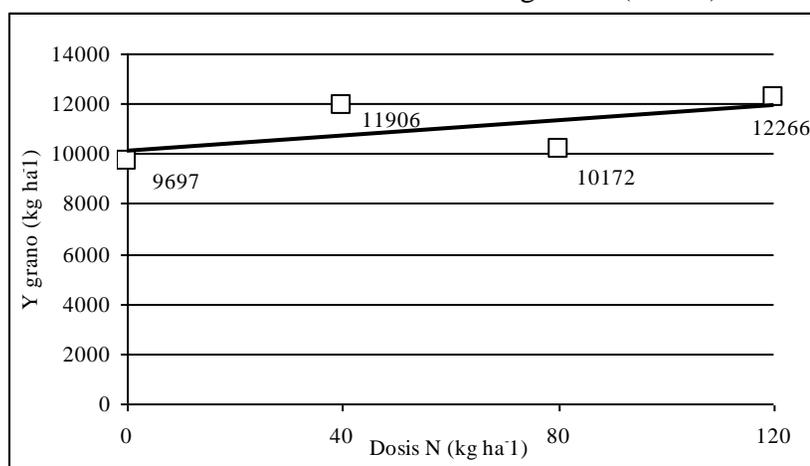
B. SITIO 1

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento de grano

No se encontró una respuesta en el rendimiento al incrementar la dosis de nitrógeno, el modelo que más se aproximó fue el lineal pero las diferencias no fueron significativas ($p = 0.3909$; $CV = 11 \%$; $R^2 = 0.37$). La falta de respuesta y el alto rendimiento del testigo son consecuencia del buen manejo previo (Figura 4) y del buen suelo en que creció el cultivo, el cual se demuestra en los valores de NO_3^- en suelo a V6 (21 ppm en promedio)

Figura 4. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 1).

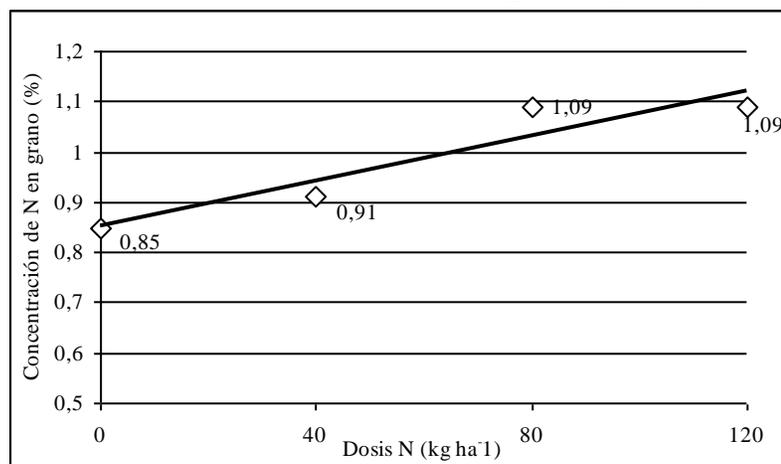


Los rendimientos obtenidos fueron muy altos, inclusive el del testigo el cual en promedio fue de 9697 kg ha^{-1} . Aplicar 40 N permitió en promedio 2209 kg ha^{-1} más que el testigo ($55 \text{ kg grano/kg de N}$). A pesar de ello, la diferencia entre estas dos dosis no fue significativa según intervalos realizados al 90% de confianza.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La recta ajustada fue significativa ($p = 0.0606$; $CV = 5\%$; $R^2 = 0.88$). La fertilización incremento la concentración de N en grano hasta la dosis 80 N (Figura 5). La concentración de N fue en incremento hasta la dosis 80 N donde se vio que a partir de ahí aumentar la fertilización no mostró efecto en dicha concentración.

Figura 5. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 1)



Se realizaron los intervalos de confianza al 90%, estos mostraron una diferencia en promedio de 0.6 % significativa entre el testigo y la dosis 40 N (-0.40; -0.08) y de 0.18 % en promedio entre la dosis 40 y 80 N (-0.34; -0.02).

c. Respuesta en N absorbido por el grano

No se encontró una respuesta significativa en el nitrógeno absorbido por el grano, sin embargo aplicar 40 N permitió la absorción de más de medio kilo de nitrógeno por parte de éste. Los valores de N absorbido fueron 83, 109, 111 y 133 Kg para 0, 40, 80, y 120 N respectivamente (Cuadro 23).

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

Del análisis en el comportamiento de las diferentes fuentes de N en evaluación, a través de rendimiento en grano, su concentración de N y el N absorbido, además del número de panojas/m², no se encontró significancia para ninguna de las 4 variables (Cuadro 11).

Cuadro 11. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 1)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,2644	p = 0,5586	p = 0,2964	p = 0,9476
Nu	11906	15	0,91	109
NuS	9137	12	1,06	99
M	10335	13	1,07	110
UAN	9448	12	1,09	102
NA	9829	14	1,08	106

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

Los resultados para este sitio muestran que no se encontró respuesta para la máxima dosis aplicada (120 N) por lo que parece entendible no encontrar un efecto al agregado de 40 N. A pesar de ello, los valores obtenidos de N en grano para las diferentes fuentes, excepto la fuente Nu, se mostraron similares a los obtenidos al aplicar 80 N de Nu. El bajo valor en la fuente Nu puede estar explicado por una mayor dilución del N a causa de un mayor rendimiento.

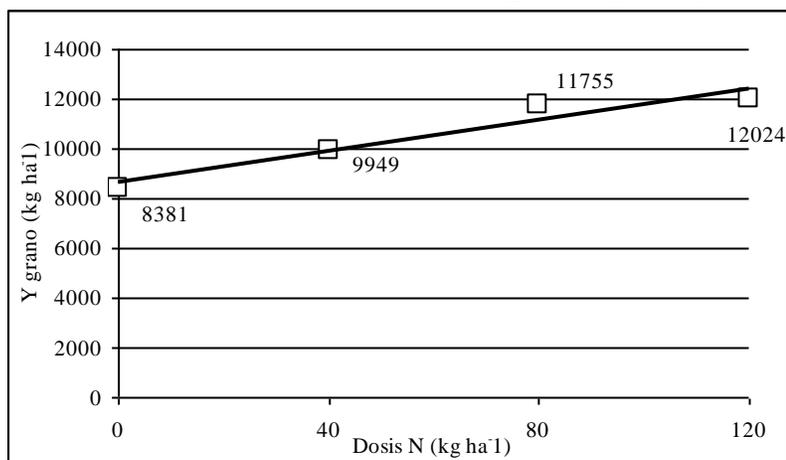
C. SITIO 2

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

Se ajustó una recta entre el rendimiento y la dosis de Nitrógeno que fue significativa ($p=0,0339$; $CV = 5\%$; $R^2 = 0.93$) (Figura 6). Por cada kg de N agregado como fertilizante el rendimiento aumentó 32 kg ha⁻¹. El valor promedio de 9 ppm de NO₃⁻ en el suelo a V6 justificó la eficiencia obtenida al agregado de N.

Figura 6. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 2)

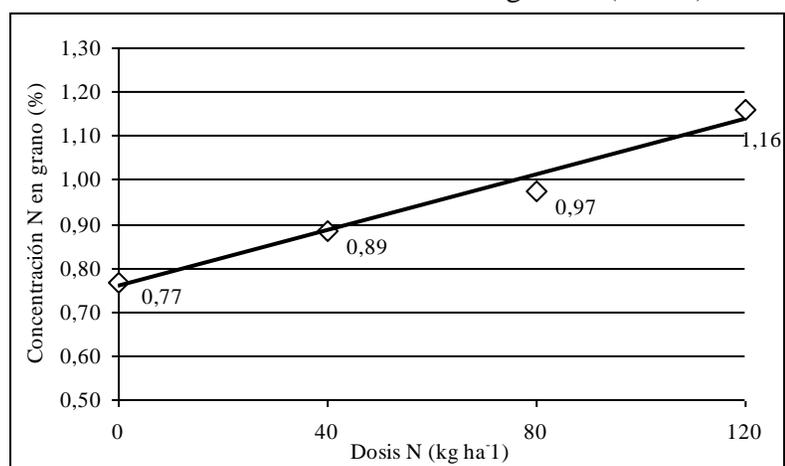


Se realizaron los intervalos de confianza al 90% para la diferencia de medias del rendimiento a las diferentes dosis; éstos indican que la dosis 80 N (-6191; -556) y 120 N (-6460; -825) son las que presentan diferencias estadísticas con el testigo; entre 80 y 120 N por hectárea no se encontró diferencias en el rendimiento promedio a nivel poblacional (-3086; 2548).

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La relación entre la concentración de N en grano y las dosis de N aplicadas se ajustó a una recta lineal significativa ($p = 0.0122$; $CV = 3\%$; $R^2 = 0.97$)(Figura 7).

Figura 7. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 2)



Se realizaron los intervalos de confianza al 90%, las diferencias significativas se dieron entre el testigo y la dosis 40 N (-0.21; -0.02); y entre la dosis 80 y 120 N (-0.28; -0.09) la cual fue en promedio de 0.11% y 0.19 % respectivamente.

c. Respuesta en N absorbido por el grano

A partir de la dosis 80 N existe una diferencia significativa con el testigo aunque la dosis 40 N se puede comportar como la de 80 N. Entre la dosis 80 y 120 N no hay diferencias (Cuadro 23). Para las tres dosis se obtuvo un valor similar en N absorbido por kg de N aplicado, éste valor ronda en los 0.62 kg (Cuadro 24).

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

A continuación se presenta el cuadro donde se muestra la falta de respuesta para las cuatro variables estudiadas.

Cuadro 12. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 2)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,5901	p = 0,9676	p = 0,9283	p = 0,6337
Nu	9949	23	0,89	90
NuS	11672	24	0,94	109
M	11182	24	0,91	114
UAN	10997	24	0,88	96
NA	11517	25	0,95	109

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

Si bien los valores promedios pueden mostrar posibles diferencias como por ejemplo entre sulfato de amonio y la urea para la variable rendimiento o entre nitrato de amonio y urea para la variable N en grano, la variabilidad que se vio a nivel de campo entre las repeticiones de cada tratamiento hacen que dichas diferencias no sean significativas (Cuadro 12).

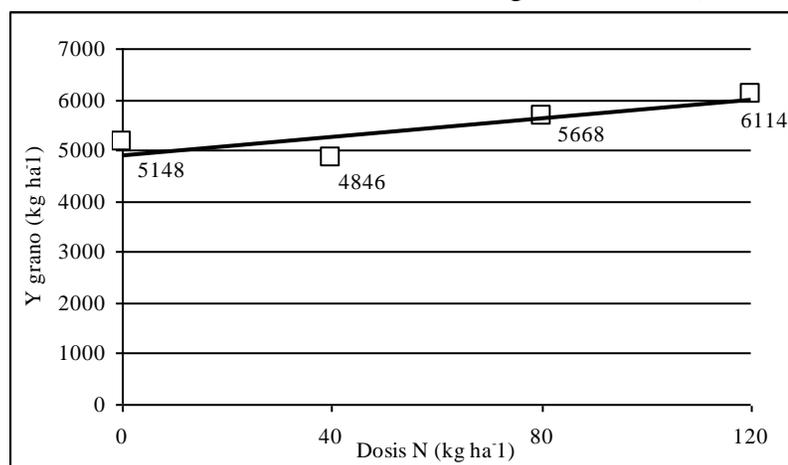
D. SITIO 3

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

No hay una respuesta en el rendimiento al incrementar la dosis de nitrógeno. Se puede observar una tendencia creciente (con crecimiento decreciente) a partir de la dosis 40 N pero los altos rendimientos obtenidos por el testigo anulan una posible respuesta (Figura 8).

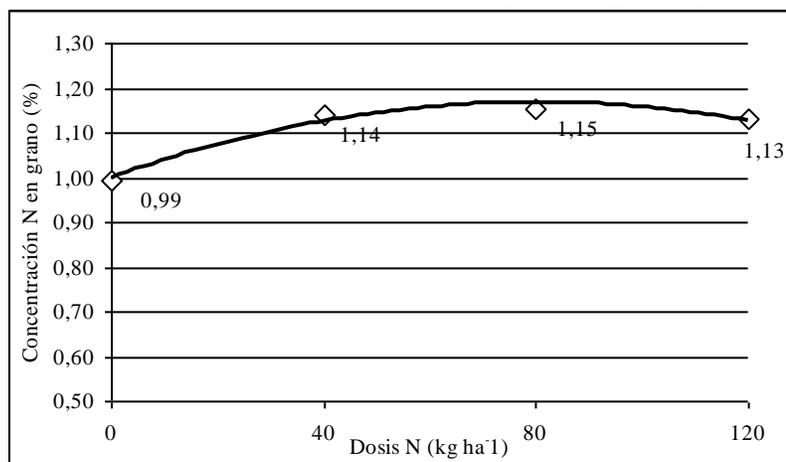
Figura 8. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 3)



b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

Tampoco se encontró una respuesta entre la concentración de N en grano y la dosis de N (Figura 9).

Figura 9. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 3)



A pesar de esto, se realizó un intervalo de confianza al 95% entre el testigo y la dosis 40 N la cual mostró una diferencia de 0.15% en promedio significativa (-0.23; -0.03). A partir de 40 N no hubo efecto en la concentración de N en grano al incrementar la dosis de N.

c. Respuesta en N absorbido por el grano

No se encontraron diferencias significativas en el N absorbido, a pesar de ello, el N absorbido crece linealmente a medida que se incrementa la dosis de N aplicado (Cuadro 23). La mejor absorción de N, 0.28 kg, se obtuvo para la dosis 40 N (Cuadro 24).

2 Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

No se observaron respuestas significativas para las diferentes fuentes de nitrógeno utilizadas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 3)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,7255	p = 0,4937	p = 0,2877	p = 0,8246
Nu	4846	9	1,14	55
NuS	5037	9	1,05	53
M	4640	9	1,26	57
UAN	5336	10	1,10	59
NA	4707	9	1,18	56

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

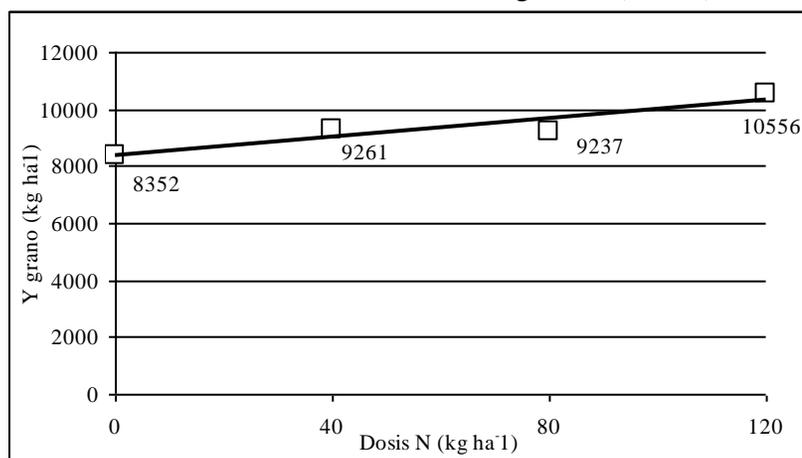
E. SITIO 4

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

El modelo que mejor se ajustó para explicar la respuesta entre el rendimiento y la dosis de nitrógeno fue lineal y significativo ($p = 0.0629$; $CV = 4\%$; $R^2 = 0.88$) (Figura 10). Por cada kg de N agregado el rendimiento aumento 16 kg ha⁻¹.

Figura 10. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 4)



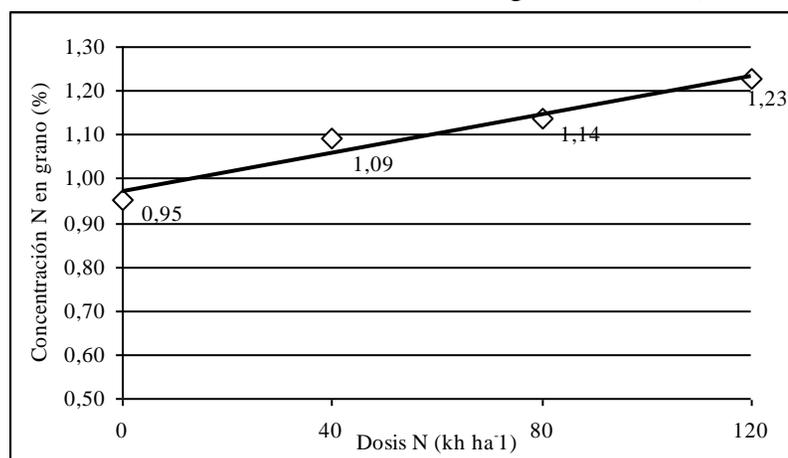
Se obtuvo un incremento en el rendimiento entre el testigo y las dosis 40 y 80 N (aproximadamente 900 kg ha⁻¹ de diferencia) y entre estas dosis y 120 N (aproximadamente 1295 kg ha⁻¹ de diferencia) (Figura 10). A pesar de ello, ningún

escalón de rendimiento es confiable ya que se realizó el intervalo de confianza al 90% para las diferencias de medias del rendimiento entre la dosis testigo y 120 N y no se encontró diferencias estadísticamente significativas (IC: -4684; 276). La falta de respuesta puede estar explicada por los valores de NO_3^- en el suelo a V6, los cuales fueron 20 ppm promedio.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La respuesta se ajustó a una recta, la cual fue significativa ($p = 0.0233$; $\text{CV} = 3\%$; $R^2 = 0.95$) (Figura 11).

Figura 11. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 4)



Se realizaron los intervalos de confianza al 90%. La dosis 80 N fue a partir de la cual existió una diferencia significativa con el testigo (-0.35; -0.03 para 80; y -0.43; -0.12 para 120). Entre las dosis 40, 80 y 120 N no se encontraron diferencias estadísticas.

c. Respuesta en N absorbido por el grano

A pesar que las diferencias al incrementar la dosis de N no fueron significativas, aplicar 40 y 80 N mostraron un valor similar, el cual se encontró en promedio 20 kg por encima del testigo. La dosis 120 N mostró en promedio 50 kg más absorbidos que el testigo sin fertilizar (Cuadro 23). Se obtuvo 0.57 kg de N absorbido/ kg N aplicado cuando la dosis fue 40 N (Cuadro 24)

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

De las cuatro variables analizadas al variar la fuente utilizada se encontró diferencias significativas ($p = 0.0428$) en la concentración de N en grano (Cuadro 14). Para las otras variables, no se observó efecto para ninguna de las fuentes aplicadas.

Cuadro 14. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 4)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)+	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,8856	p = 0,8605	p = 0,0428	p = 0,4641
Nu	9261	15	1,09 b	102
NuS	8616	14	0,80 a	69
M	7841	13	1,08 b	85
UAN	8303	16	1,05 b	86
NA	8359	15	1,00 b	84

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²
+ significancia al 10% (DMS)

La fuente NuS presentó significativamente una menor concentración de N en grano. Los valores mostraron un efecto antagónico al agregar azufre junto con amonio frente a la dosis de amonio, relación que se ve entre Nu y NuS (Cuadro 14).

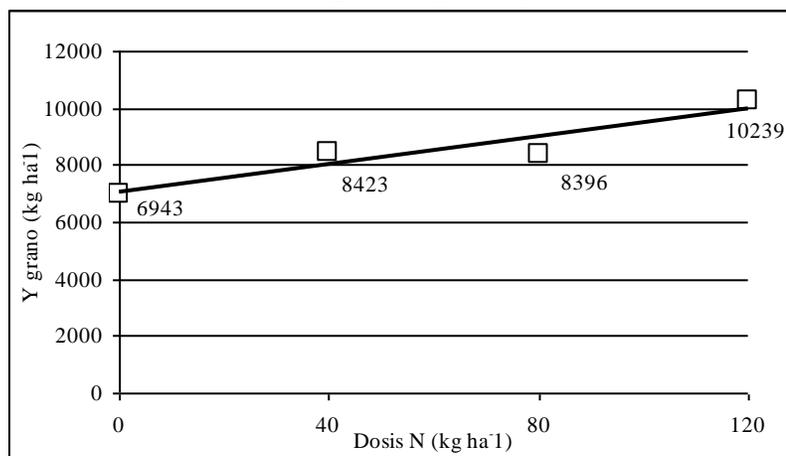
F. SITIO 5

1 Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta del rendimiento en grano

La respuesta en el rendimiento al incrementar la dosis de fertilizante se ajustó a una recta la cual fue estadísticamente significativa ($P = 0.0568$; $CV = 6\%$; $R^2 = 0.89$) (Figura 12). El aumento en rendimiento por kg de N agregado fue de 25 kg ha⁻¹. No obstante, el aumento en rendimiento para la dosis 40 N fue de 37 kg ha⁻¹ y para la dosis 120 N fue de 27 kg ha⁻¹.

Figura 12. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 5)

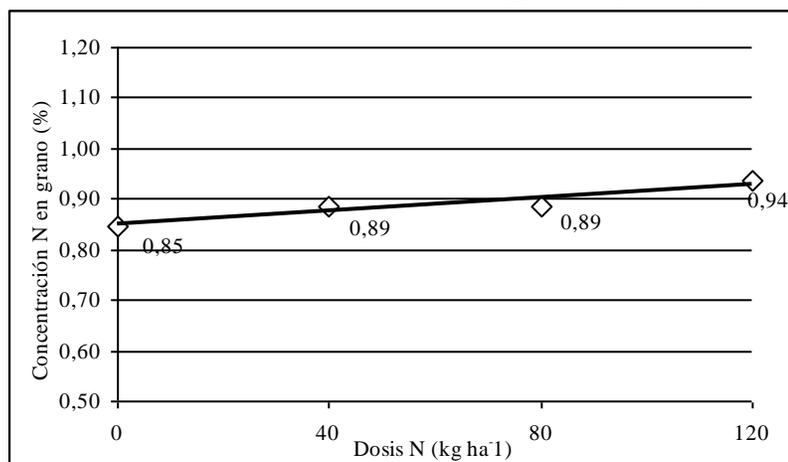


El incremento en el rendimiento ocurrió entre el testigo y 40 N, se mantuvo entre 40 y 80 N y a partir de ahí volvió a incrementar hasta la dosis 120 N, efecto similar al obtenido en el sitio 4 aunque en este caso las diferencias fueron significativas (Figura 12). Las diferencias estadísticas mediante intervalos realizados al 90 % de confianza se vieron entre el testigo y la dosis 40 N (-2884; -76) y entre la dosis 40 N y la dosis 120 N (-3221; -412).

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

Se ajustó a una recta significativa ($p = 0.0542$; CV 2%; $R^2 = 0.89$) (Figura 13). Por unidad agregada de N el incremento en la concentración de nitrógeno fue de 0.0007% lo que explica el escaso incremento porcentual entre las dosis. La aplicación de 120 N fue la única dosis que se diferenció significativamente del testigo (-0.17; -0.004) según los intervalos de confianza al 90% realizados.

Figura 13. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 5)



c. Respuesta en N absorbido por el grano

Las dosis 40 y 80 N y la dosis 120 N permitieron un 21% y 38% más que el testigo en la absorción de N respectivamente (Cuadro 23). Las diferencias significativas con el testigo se mostraron para la mayor dosis aunque ésta y la dosis 40 N no mostraron diferencias.

2 Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

No se encontraron diferencias significativas entre las diferentes fuentes para las cuatro variables estudiadas (Cuadro 15).

Cuadro 15. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 5)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,2800	p = 0,6768	p = 0,6492	p = 0,2508
Nu	8423	20	0,89	75
NuS	7690	20	0,88	67
M	9091	20	0,86	78
UAN	8442	22	0,88	74
NA	9616	24	0,92	87

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

La fuente NA mostró tanto para rendimiento, No. de panojas/m², concentración de N en grano y N absorbido los mayores valores aunque la diferencias no fueron significativas (Cuadro 15).

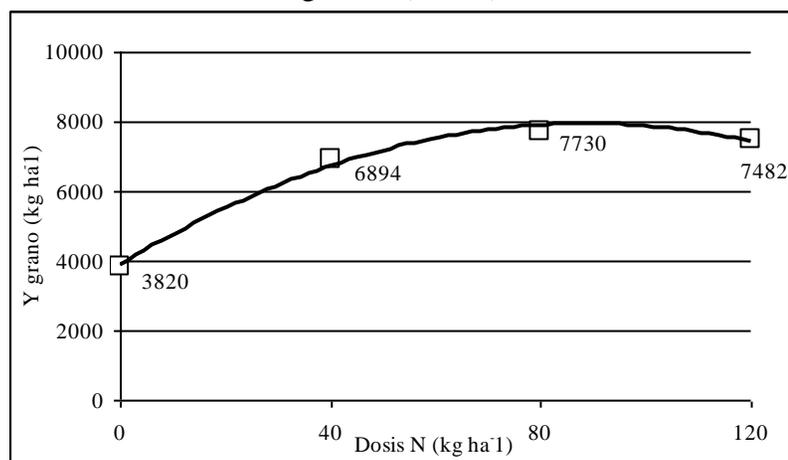
G. SITIO 6

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta del rendimiento en grano

Se ajustó una curva entre el rendimiento y la dosis de nitrógeno la cual fue significativa ($p = 0.0824$; $CV = 4\%$; $R^2 = 0.99$) (Figura 14).

Figura 14. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 6)

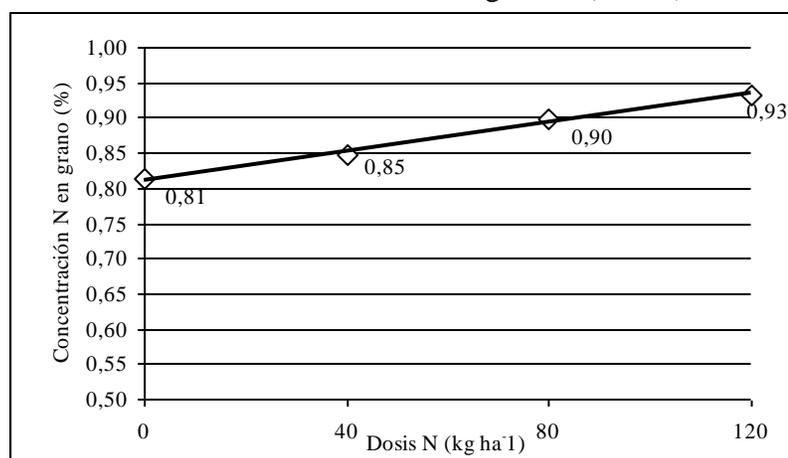


La alta incidencia de malezas en este sitio ayuda a explicar la respuesta obtenida. Similares respuestas fueron encontradas por Kegode et al. (1994) donde un incremento en la fertilización nitrogenada mostró un aumento en el rendimiento para todos los niveles de infección con sorgo de alepo pero que a medida que aumentaba la dosis de N aplicada aumentaba la competitividad de la maleza. Ocurrió una caída en rendimiento al pasar de la dosis 80 a 120 N lo que puede deberse a que el sorgo no pudo compensar la competitividad de la maleza (Figura 14). El punto en el cual se hace máxima la curva es a 88 N logrando un rendimiento de 7984 kg ha⁻¹ de grano, el tratamiento más cerca a este pico es la dosis 80 N. A pesar de esto la dosis más eficiente fue la dosis 40 N con 77 kg grano/ kg de N agregado.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La respuesta en la concentración de N fue lineal y significativa ($p = 0.0034$; $CV = 0.6\%$; $R^2 = 0.99$) (Figura 15). A pesar de la relación entre estas dos variables, no se encontraron intervalos de confianza al 90% para las dosis de N aplicadas, anulando las posibles ventajas de la aplicación de fertilizante en el N% en grano.

Figura 15. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 6)



c. Respuesta en N absorbido por el grano

Se observó un incremento en el N absorbido promedio hasta la dosis 80 N el cual no fue significativo (Cuadro 23). Se obtuvieron 0.23 kg de N absorbido/ kg N aplicado cuando la dosis fue 80 N (Cuadro 24).

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

Se observó un efecto significativo entre las fuentes en el número de panojas /m², donde el tratamiento con solmix presentó en promedio entre cuatro y seis panojas/m² menos que el resto de los tratamientos. Para las otras dos variables no se encontraron efectos significativos al cambiar la fuente de N aplicado (Cuadro 16).

Cuadro 16. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 6)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *+	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,3127	p = 0,0069	p = 0,6050	p = 0,3457
Nu	6894	18 b	0,85	58
NuS	6459	20 bc	0,86	55
M	6223	14 a	0,95	57
UAN	9361	18 b	0,87	84
NA	7364	20 c	0,83	61

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²
+ Significancia al 10% (DMS)

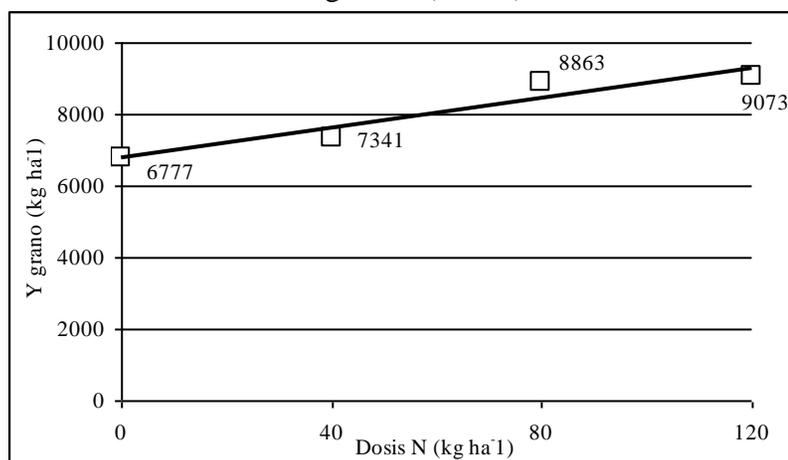
H. SITIO 7

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

Se ajustó una recta entre el rendimiento y las dosis de nitrógeno que fue significativa ($p = 0.0385$; CV 5%; $R^2 = 0.92$) (Figura 16). El incremento obtenido por aumentar un kg de N es de 21 kg de grano ha⁻¹.

Figura 16. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 7)



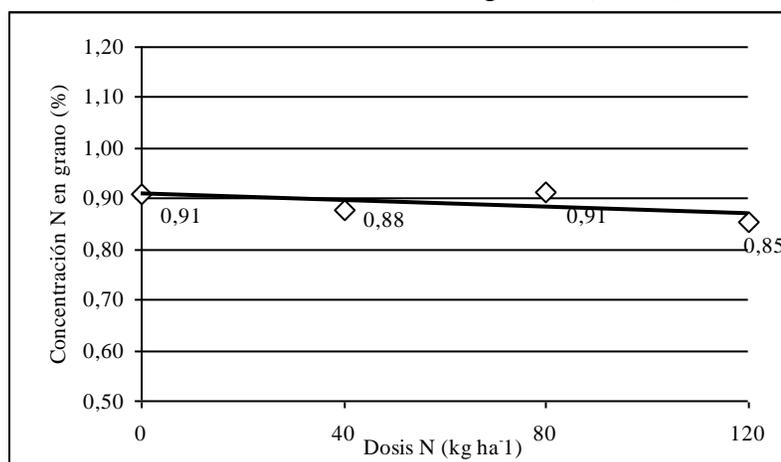
Se realizaron los intervalos de confianza al 95% para la diferencia de medias del rendimiento a las diferentes dosis; éstos muestran que la dosis 40 N no se diferencia del

testigo. La dosis 80 N esta significativamente por encima del testigo y de la dosis 40 N. La dosis 120 N no mostró diferencias con la de 80 N. El NO_3^- en el suelo a V6 fue de 9 ppm lo que puede explicar en parte la respuesta encontrada. A pesar de esto, es importante considerar el rendimiento promedio del testigo el cual contó con solo 6 kg de N ha^{-1} a la siembra.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La concentración de N en grano no fue afectada por incrementar la dosis de fertilizante aplicado (Figura 17).

Figura 17. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 7)



c. Respuesta en N absorbido por el grano

No se observaron diferencias estadísticas ni agronómicas importantes en el N absorbido al incrementar la dosis (Cuadro 23). El nulo efecto en la concentración del grano al incrementar la dosis (Cuadro 24) explica la respuesta en el N absorbido.

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

La respuesta al variar la fuente de N no fue significativa para ninguna de las cuatro variables (Cuadro 17).

Cuadro 17. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 7)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)+	N absorbido (kg ha-1)
Fuente	p = 0,5221	p = 0,1649	p = 0,0620	p = 0,7772
Nu	7341	22	0,88 b	64
NuS	7759	23	0,86 b	67
M	7944	20	0,78 a	62
UAN	9009	23	0,78 a	70
NA	8496	20	0,86 b	73

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

+ Significancia al 10% (DMS)

° Modelo no significativo (p = 0.1260)

A pesar de no haber efecto significativo en el rendimiento, la fuente UAN para la variable rendimiento mostró en promedio valores de rendimiento similar a las dos mayores dosis, 80 y 120 N. Para la concentración de N en grano, las fuentes líquidas presentaron entre 0.07 y 0.1 % menos que las fuentes sólidas (Cuadro 17). La explicación puede deberse a la dilución a causa del mayor rendimiento dado en éstas fuentes.

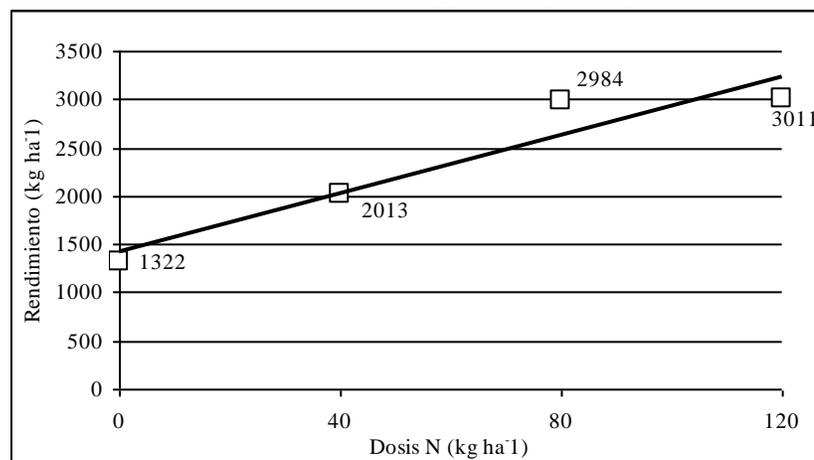
I. SITIO 8

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

El efecto entre el rendimiento y las dosis de N se ajustó a una recta estadísticamente significativa ((p = 0.0472; CV = 13%; R² = 0.91) (Figura 18). La aplicación de nitrógeno mostró un incremento de 15 kg grano ha⁻¹ por unidad aplicada.

Figura 18. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 8)



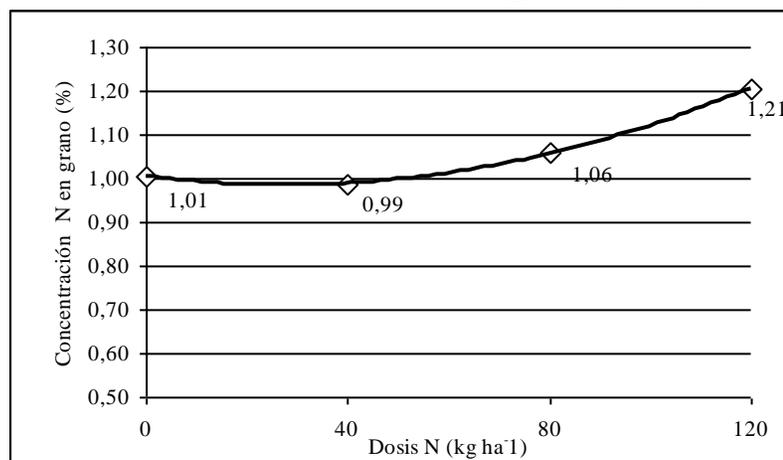
La dosis 40 N se encontró en promedio 691 kg ha^{-1} por encima del testigo (-1299; -83) pero fue superada en 971 kg ha^{-1} promedio por la dosis 80 N (-1579; -363). Los kg de grano que se ganaron por cada kg de N aplicado fueron tanto para la dosis 40 N y la dosis 80 N de 17 y 21 kg ha^{-1} respectivamente. A partir de la dosis 80 N no se encontró una respuesta significativa en el rendimiento. El valor promedio de nitrato a V6 es de 5 ppm lo cual ayuda a explicar la respuesta al agregado de N.

Es importante aclarar que a pesar de ésta respuesta encontrada al agregado de dicho nutriente, ensayos realizados durante esta investigación demostraron al fósforo como nutriente limitante del rendimiento en grano el cual rindió en promedio un 65% más que el tratamiento con nitrógeno, potasio y azufre pero sin fósforo. El cultivo de sorgo se realizó sobre un campo natural con valores de P Bray en el suelo de 3 ppm, resaltando la necesidad de este nutriente.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

Se ajustó una respuesta cuadrática entre la concentración de N en grano y la dosis de N aplicada la cual fue significativa (0.0254; CV = 0.41%; $R^2 = 0.99$) (Figura 19).

Figura 19. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 8)



Los incrementos en la concentración de N en grano fueron crecientes a medida que aumentó la dosis aplicada, respuesta que concuerda con los bajos valores de nitrato a V6 (5 ppm en promedio). La dosis 120 N fue a partir de la cual se encontró diferencias significativas al realizar intervalos de confianza al 90%, mostró en promedio 0.15% más que la dosis 80 N (-0.23; -0.06).

c. Respuesta en N absorbido por el grano

Se observaron para este sitio los valores mas bajos de N absorbidos lo cual es entendible dado los rendimientos obtenidos. Las diferencias significativas se dieron a partir de la dosis 80 N, entre ésta y la mayor dosis no se encontraron diferencias (Cuadro 23).

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

Para ninguna de las cuatro variables se encontró respuesta al cambiar la fuente utilizada (Cuadro 18).

Cuadro 18. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 8)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,9928	p = 0,8321	p = 0,6352	p = 0,9766
Nu	2013	14	0,99	19,83450704
NuS	1926	13	0,98	18,89770666
M	2147	12	1,05	22,5613911
UAN	2177	12	1,02	21,57960655
NA	2144	14	1,02	21,78323394

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

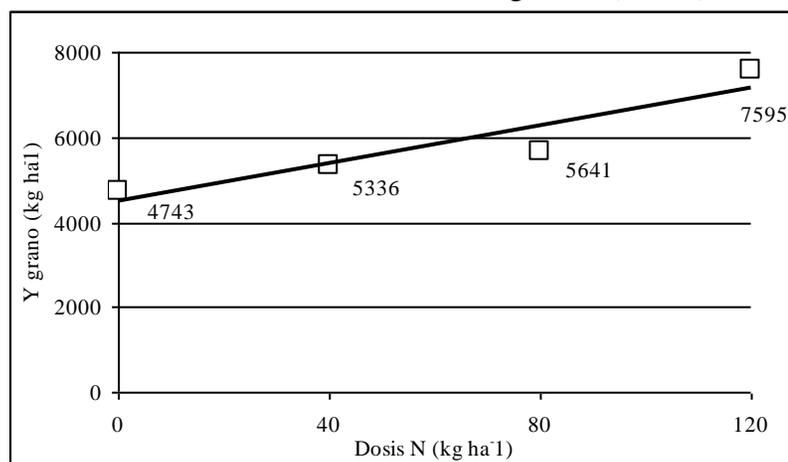
J. SITIO 9

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

Se ajustó la respuesta entre el rendimiento y la dosis de N con una recta la cual es significativa ($p = 0.0739$; $CV = 10\%$; $R^2 = 0.86$) Figura 20). El valor de NO_3^- en suelo a V6 fue de 7 ppm.

Figura 20. Respuesta en el rendimiento del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 9)



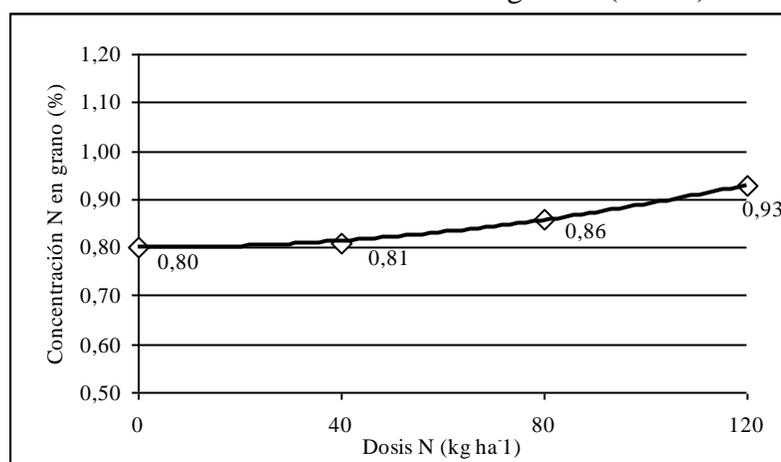
Se realizaron los intervalos de confianza al 95% donde la mayor dosis fue la única que se diferenció significativamente del testigo (-5388; -316). A pesar de ello, ésta no mostró diferencia con la dosis 40 ni con la 80 N. El incremento del rendimiento por

cada kg de N agregado fue de 22 kg ha⁻¹. Este incremento está impulsado por el efecto de la dosis 120 N donde se obtuvieron 24 kg de grano por kg de N agregado para esta dosis.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La respuesta entre la concentración de N en grano y la dosis fue cuadrática y significativa ($p = 0.0422$; $CV = 0.5\%$; $R^2 = 0.99$) (Figura 21).

Figura 21. Respuesta en la concentración de N del grano al incrementar la dosis de fertilizante nitrogenado (sitio 9)



Se obtuvo un crecimiento creciente al agregado de nitrógeno (Figura 21), la diferencia con el testigo se encuentra a partir de la dosis 80 N, ésta en promedio fue de 0.05% (-0.11; -0.01). La dosis 120 N se encontró 0.07% por encima de la dosis 80 N (-0.12; -0.02). Ambas diferencias fueron encontradas por intervalos de confianza al 90%.

c. Respuesta en N absorbido por el grano

La respuesta en la absorción de N, como se observa para el rendimiento y la concentración de N en grano, se encontró en la dosis 120 N (Cuadro 23). Ésta presentó una diferencia significativa con el resto de los tratamientos y además fue donde se obtuvo la mayor absorción de N por el grano/ kg N aplicado, 0.27 kg (Cuadro 24).

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

No se encontraron diferencias significativas al cambiar la fuente utilizada, ni para número de panojas/m², rendimiento, concentración de N en grano, ni N absorbido (Cuadro 19)

Cuadro 19. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas (sitio 9)

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ² *	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
Fuente	p = 0,2732	p = 0,8609	p = 0,7662	p = 0,3283
Nu	5336	16	0,81	43
NuS	6952	18	0,81	56
M	5615	15	0,78	43
UAN	7069	16	0,76	54
NA	6037	17	0,80	48

* El valor de p es el valor de la raíz cuadrada del No. de panojas/m²

K. COMPARACIÓN ENTRE SITIOS

1. Respuesta a dosis crecientes de fertilización

a. Respuesta en el rendimiento en grano

Para los nueve sitios estudiados, en siete de ellos se encontró respuesta a la fertilización nitrogenada de las cuales seis se ajustaron a una recta lineal y uno de ellos a una cuadrática (Cuadro 20). Es importante puntualizar que sería deseable tener mayor número de dosis y mayor rango de exploración de ajuste del modelo; de todas maneras, ello no invalida lo realizado.

Cuadro 20. Indicadores de las 9 regresiones entre el rendimiento y las dosis de nitrógeno

Sitio	Significancia	R ²	C.V. (%)	Modelo
1	n/s	-	-	-
2	0,0339	93	5	8617.099358 + 31.832404 N
3	n/s	-	-	-
4	0,0629	88	4	8363.137356 + 16.469778 N
5	0,0568	89	6	7020.686053 + 24.657393 N
6	0,0824	99	4	3877.538762 + 91.843250 N - 0.519050 N ²
7	0,0385	92	5	6752.144790 + 21.026569 N
8	0,0472	91	13	1426.754936 + 15.095816 N
9	0,0739	86	10	4499.550631 + 22.151271 N

En siete de los nueve sitios, según muestran los modelos, hubo una importante ganancia en kg de grano por kg de N aplicado. Los valores estuvieron entre 15 y 25 kg de grano excepto para los sitios 2 y 6 donde la ganancia fue de 32 y 77 kg respectivamente (Cuadro 20).

En el Cuadro 21 se presenta la ganancia en kg de grano por kg de nitrógeno para la dosis que mejor respuesta mostró en cada sitio, junto con el manejo previo, el tipo de laboreo y el rendimiento de las parcelas sin fertilizar. Se puede ver en éste, la variada respuesta obtenida. Ello coincide con la información observada para los últimos años en nuestro país (Cuadro 3). Diferentes investigadores constataron la respuesta positiva al agregado de nitrógeno (kg de grano por kg de N aplicado) para diferentes años, tanto en chacras viejas como nuevas.

Zamora et al. (2008) encontraron para un promedio de 3 localidades en la provincia de Buenos Aires, la mayor respuesta a la dosis 60 N con 17 kg grano/kg N, valor que se encuentra por debajo de los presentados en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Manejo del cultivo y efecto de la fertilización para los 9 sitios en estudio

Sitio	Manejo anterior	Tipo de laboreo	Rend. Testigo (kg ha ⁻¹)	Dosis (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Respuesta kg grano kg N ⁻¹
1*	raygrass	SD	9697	40	11906	55
2	pradera 2años	Laboreo	8381	80	11755	42
3	rastrojo sorgo	SD	6266	-	-	-
4*	rastrojo sorgo	Laboreo	8352	40	9261	23
5	sorgo/trigo	SD	6943	40	8423	37
6	rastrojo sorgo	SD sin h.	3820	80	6894	
7	Chacra nueva	SD sin h.	6777	80	8863	26
8	Campo Natural	SD en c.	1322	80	2984	21
9	Chacra vieja	Laboreo	4743	120	7595	24

*Sitios sin respuesta estadística significativa.

* h: herbicida; c: cobertura.

Los valores de N agregado a la siembra (Cuadro 7) son para casi todos los sitios suficientes para la fase inicial del cultivo, quedando la parte de mayor crecimiento y demanda a manos del N aportado por el suelo. Considerando esto, son destacables los rendimientos de los testigos para los sitios 1, 2, 3 4, 5 y 7 donde la mineralización jugó un papel muy importante si consideramos las buenas condiciones ambientales ocurridas para la zafra 2009-2010.

Del Pino³ en suelos de Kiyu, IPB y CRS - incubados a 25° C y a capacidad de campo - obtuvo 1, 0.87 y 0.81 mg de N mineral kg⁻¹ de suelo respectivamente, los cuales mineralizaron 2.50, 2.18 y 2.03 kg de N mineral ha⁻¹ día⁻¹ bajo dichas condiciones ambientales.

b. Respuesta en la concentración de nitrógeno en grano

La respuesta en la concentración en grano al agregado de nitrógeno se manifestó en siete de los nueve sitios, donde cinco de ellas fueron lineales y dos cuadráticas (Cuadro 22). Tanto el coeficiente de variación como el de determinación fueron muy buenos, aunque no hay que olvidar que se utilizaron valores promedios de cada dosis.

Este incremento en la concentración fue observado en cuatro sitios en El Salvador, al agregar 21 kg ha⁻¹ de N (Chinchilla et al., 2008).

Otros estudios también demostraron aumentos en la concentración de nitrógeno en el grano con el incremento de la dosis de nitrógeno (Hanson et al. 1988, Kamoshita et al. 1998)

Dicho incremento permite una mejora en la calidad del grano al aumentar el contenido de proteína del mismo.

Hanson et al. (1988), Kamoshita et al. (1998) publicaron además, que el aumento en el contenido de proteína a causa de la fertilización nitrogenada permite un incremento en la densidad verdadera del grano, otro parámetro de gran importancia en la calidad molinera de los granos.

³ del Pino, A. 2011. Ajuste de la fertilización nitrogenada en sorgo granífero (sin publicar).

Cuadro 22. Indicadores de las 9 regresiones entre la concentración de N y las dosis de nitrógeno

Sitio	Significancia	R ²	C.V. (%)	Modelo
1	0,0606	88	5	$0.8542813996 + 0.0021917933 N$
2	0,001222	97	3	$0.7572086666 + 0.0031755500 N$
3	n/s	-	-	-
4	0,0233	95	3	$0.9708813331 + 0.0021785750 N$
5	0,0542	89	2	$0.8487826665 + 0.0006646500 N$
6	0,0034	99	0,6	$0.8107199331 + 0.0010282650 N$
7	n/s	-	-	-
8	0,0254	99	0,41	$1.004578400 - 0.001427790 N + 0.000025932 N^2$
9	0,0422	99	0,5	$0.799070933 - 0.0000108267 N + 0.000009071 N^2$

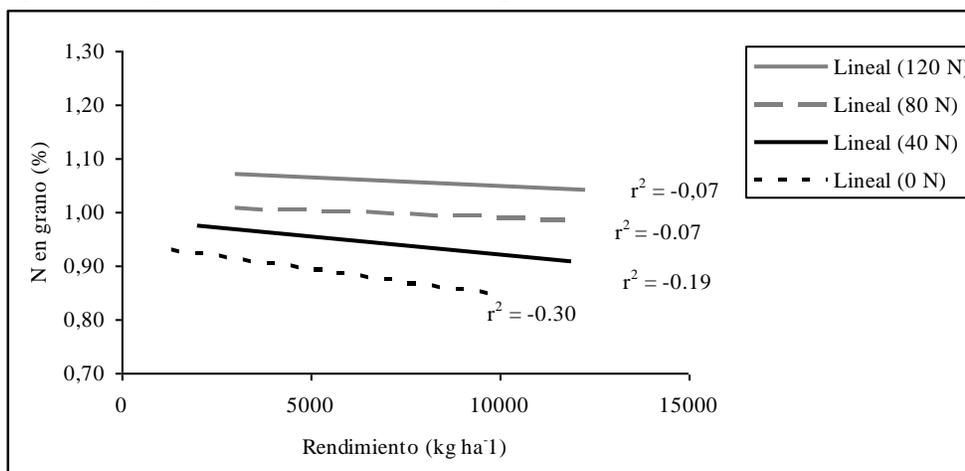
El rango del contenido de proteína en grano, determinado a partir de la concentración de N en el mismo, para los nueve sitios se ubicó entre 5,3 y 6,9%.

Las condiciones que tuvieron los nueve sitios (sin limitantes hídricas) podrían haber incidido sobre los bajos valores observados. Si consideramos los resultados obtenidos por Muchow (1990), Kamoshita et al. (1998), donde bajo condiciones de agua no limitantes han presentado valores de concentración de N en grano menores que en condiciones de secano. Este efecto pudo ser causa indirecta del incremento en el rendimiento en condiciones de no limitantes hídricas y de la disminución de éste bajo condiciones de secano (posible efecto de concentración).

Debe considerarse que los sorgos en general no tienen un atributo de elevado nivel proteico. En condiciones similares en el manejo de N, las variedades de alto rendimiento en sorgo toman más N del suelo y no presentan un rendimiento elevado como en el cultivo de maíz. Dado principalmente por su menor translocación de N de los tejidos vegetales al grano en comparación a cultivos como el maíz (Olson y Kurtz, 1982). Por lo tanto si bien se puede elevar el nivel proteico en cierto rango por fertilización y/o menor densidad, la capacidad de modificación de este aspecto de la calidad podría estar topeada respecto a otras especies de verano como ya fue mencionado anteriormente.

Para las cuatro dosis aplicadas en evaluación, a pesar de la tendencia negativa entre rendimiento y concentración en el grano, su confiabilidad será baja dados los valores de coeficientes de determinación obtenidos (Figura 22). Kamoshita et al. (1998) encontraron una correlación negativa entre el rendimiento y la concentración de N en grano para tres dosis de N, bajo condiciones de riego y secano.

Figura 22. Relación entre el rendimiento y la concentración de N en grano promedio para las cuatro dosis de N aplicadas



c. Respuesta en N absorbido por el grano

Para todos los sitios, el hecho de agregar fertilizante - como tendencia general - mejoró la cantidad de N absorbido. La respuesta significativa se encontró en cuatro de los nueve sitios. A partir de 80 N se vio diferencia con el testigo para los sitios 2 y 8. Para los sitios 5 y 9 esta diferencia existió para la dosis mayor (Cuadro 23).

Cuadro 23. Kg de N absorbido según dosis aplicada

Dosis	Kg N absorbido								
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9
0	83	64 a	44	79	59 a	31	61	13 a	38 a
40	109	90 ab	55	102	75 ab	58	64	20 a	43 a
80	111	114 bc	64	104	74 a	70	81	32 b	48 a
120	133	140 c	74	130	96 b	70	78	36 b	70 b
Significancia	n/s	0,0214	n/s	n/s	0,0266	n/s	n/s	0,0016	0,0323

Para los kg de N absorbido por kg de N aplicado, la dosis de 40 N presentó los mejores valores en cinco de los nueve sitios, resultando ello una mayor eficiencia de utilización del N aplicado (Cuadro 24), tanto económicamente como del punto de vista ambiental.

Cuadro 24. Kg de N absorbido por kg de N aplicado según dosis aplicada

Dosis	Kg N absorbido/ kg N aplicado								
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9
40	0,64	0,63	0,28	0,57	0,40	0,68	0,08	0,16	0,13
80	0,34	0,62	0,25	0,31	0,19	0,48	0,24	0,23	0,13
120	0,41	0,63	0,25	0,42	0,31	0,33	0,14	0,19	0,27

d. Respuesta en el número de panojas /m²

La respuesta positiva en el número de panojas/m² ante el incremento en la dosis de nitrógeno aplicado como urea, solo se manifestó en un sitio de los nueve estudiados (Cuadro 25). En el sitio 8 el número de panojas/m² se incrementó hasta la dosis 80N (15 panojas/m²); disminuyendo a la dosis máxima aplicada (12 panojas/m²); ajustándose un modelo cuadrático para tal comportamiento ($p = 0.0941$; $CV = 1\%$; $R^2 = 0.99$). Kamoshita et al. (1998) para este mismo cultivo con dosis de nitrógeno de 0, 60 y 240 N obtuvieron 15, 17 y 20 panojas/m² bajo riego, y 22, 27 y 31 para condiciones de secano respectivamente.

Sin embargo, se encontró una relación lineal negativa entre el factor y la variable en cuestión en los sitios 4 ($p = 0.080$; $CV = 4\%$; $R^2 = 0.83$) y 9 ($p = 0.0497$; $CV = 4\%$; $R^2 = 0.90$). La cual puede deberse a que al aumentar la oferta de N se produzca una reducción de la capacidad de compensación (desarrollo de tallos secundarios) que se dio a bajas o a nulas dosis de N.

Por el comportamiento obtenido, podríamos decir que para estos sitios y en el año de evaluación la variable número de panojas/m² no mostró estar relacionado coherentemente con el factor fertilización nitrogenada de manera tal de poder observar una tendencia en algún sentido.

Cuadro 25. Número de panojas/m² para cada dosis de N aplicado en cada sitio experimental y su resultado estadístico

Dosis N	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9
0	13	22	9	17	21	17	18	11	18
40	15	23	9	15	20	18	22	14	16
80	13	25	10	13	21	17	22	15	16
120	15	23	8	13	22	16	22	13	12
ANAVA	n/s	n/s	n/s	0,087*	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s
Regresión	-	-	-	lineal negativa	-	-	-	cuadratica	Lineal negativa

* diferencias significativas, DMS al 10 %

2. Respuesta al variar la fuente utilizada a una misma dosis (40 N)

La concentración en grano presentó una diferencia significativa en el sitio 4 por el bajo efecto de la fuente sulfato de amonio y en el sitio 7 por una mejor respuesta de las fuentes sólidas frente a las líquidas (aunque el modelo en este caso no fue significativo). En cuanto la variable número de panojas/m² mostró diferencias significativas para el sitio 6 a causa del bajo número de panojas que presentó la fuente líquida solmix con respecto a las demás fuentes. Para el resto de las variables y de los sitios no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 26). La tendencia es a un comportamiento similar entre las diferentes fuentes para la dosis a las cuales se comparó.

Cuadro 26. Respuesta promedio de cinco fuentes de N para cuatro variables estudiadas para los 9 sitios experimentales

Sitio	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	panojas/m ²	N en grano (%)	N absorbido (kg ha ⁻¹)
1	n/s	n/s	n/s	n/s
2	n/s	n/s	n/s	n/s
3	n/s	n/s	n/s	n/s
4	n/s	n/s	0,0428	n/s
5	n/s	n/s	n/s	n/s
6	n/s	0,0069	n/s	n/s
7	n/s	n/s	0,0620	n/s
8	n/s	n/s	n/s	n/s
9	n/s	n/s	n/s	n/s

3. Relación entre el rendimiento y el contenido de NO_3^- en suelo próximo a V6

Se estudió el efecto del contenido de nitrato del suelo en el rendimiento mediante correlaciones entre el nitrato próximo a V6 en la fila, la entrefila, la fila y la entrefila y el promedio de ambas (Cuadro 27)

Las cuatro correlaciones fueron significativas a pesar de que la proporción de la variabilidad representada por éstas no fue cercana a uno. Esto es entendible ya que no son valores promedios de cada sitio.

Cuadro 27. Correlaciones entre el contenido de NO_3^- en la fila, la entrefila y el rendimiento

Fila-Rendimiento		Entrefila-Rendimiento	
r^2	p valor	r^2	p valor
0,56	0,0042	0,57	0,0033
Fila-Entrefila		Promedio*-Rendimiento	
r^2	p valor	r^2	p valor
0,71	0,00012	0,61	0,0015

* Promedio entre la fila y la entrefila.

El ajuste entre el promedio de la fila y la entrefila con el rendimiento es mayor que cada uno por separado, dado que la interacción entre éstas fue alta. Sin embargo la robustez de lo afirmado depende de la generación de más información. El nitrato en la fila es importante para explicar una respuesta a corto plazo y el de la entrefila esperable a largo plazo, por lo que es entendible que el promedio de estos dos muestreos nos ayuden a explicar mejor la respuesta en el rendimiento.

Para valores de 20 y 21 ppm no hubo respuesta al agregado de N, para 15 ppm la respuesta se observó a la dosis 40 N y ya para valores por debajo de 12 ppm la respuesta se ubicó en dosis mayores de N (Cuadro 28).

Cuadro 28. Contenido del NO_3^- en suelo y respuesta a la fertilización para los 9 sitios en estudio

Sitio	N- NO_3^- (ppm)			Desvío Estándar*	Dosis de respuesta (kg ha^{-1})
	Fila	Entrefila	Promedio		
1	15	28	21	7,61	-
2	11	6	9	4,07	80
3	8	9	8	2,73	-
4	20	20	20	6,55	-
5	12	18	15	8,80	40
6	7	17	12	7,09	80
7	8	10	9	1,75	80
8	6	3	5	1,38	80
9	7	7	7	0,98	120

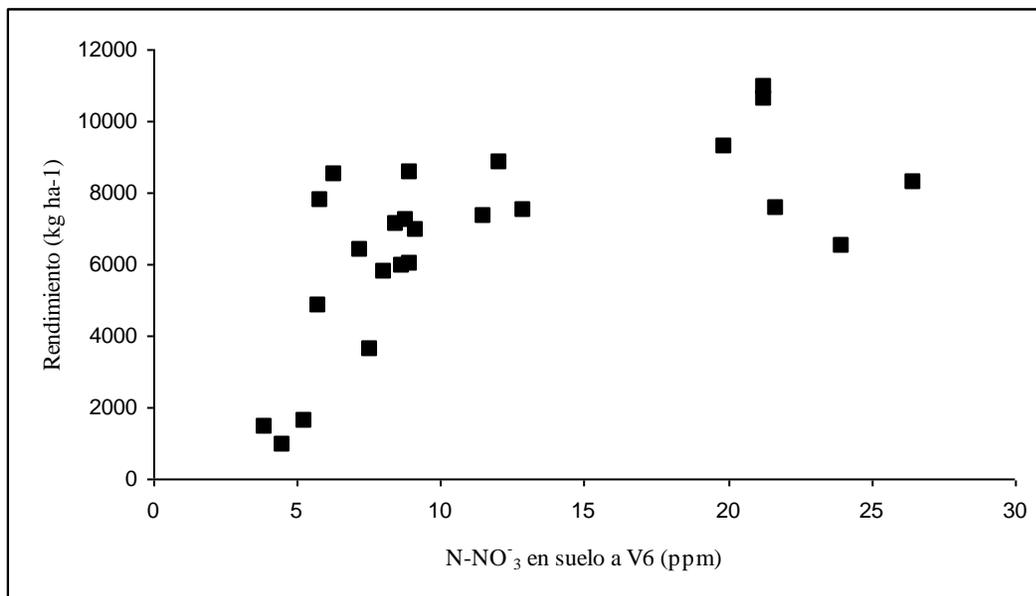
* Desvío estándar de seis muestreos por sitio.

Es importante resaltar que a pesar de las respuestas encontradas para valores bajos de NO_3^- en suelo, los rendimientos de los testigos sin fertilizar fueron elevados. El incremento del nitrógeno mineral del suelo durante el ciclo del cultivo estaría aportando parte del nitrógeno requerido, especialmente cuando se incrementa su tasa de absorción y/o requerimiento: ello podría explicar en parte el comportamiento observado en los testigos.

Cuando los valores de nitrato en suelo son bajos hay menor variabilidad entre muestreos, hecho que no ocurre cuando los valores de éste son medios (cuadro 28). Por lo que se puede concluir que cuando los valores son bajos la concordancia entre la muestra y el valor real es bueno. En otras palabras, es mas seguro de que los valores sean similares para el área de muestreo.

La respuesta en el rendimiento al incrementar el contenido de NO_3^- en suelo fue apreciable para niveles medios a bajos de nitrógeno mineral en el suelo (Figura 23). A partir de las 10 ppm el rendimiento estuvo por encima de 6000 kg ha^{-1} sumándose probablemente otras limitantes de rendimiento ($r^2 = 0.61$, $p = 0.0015$).

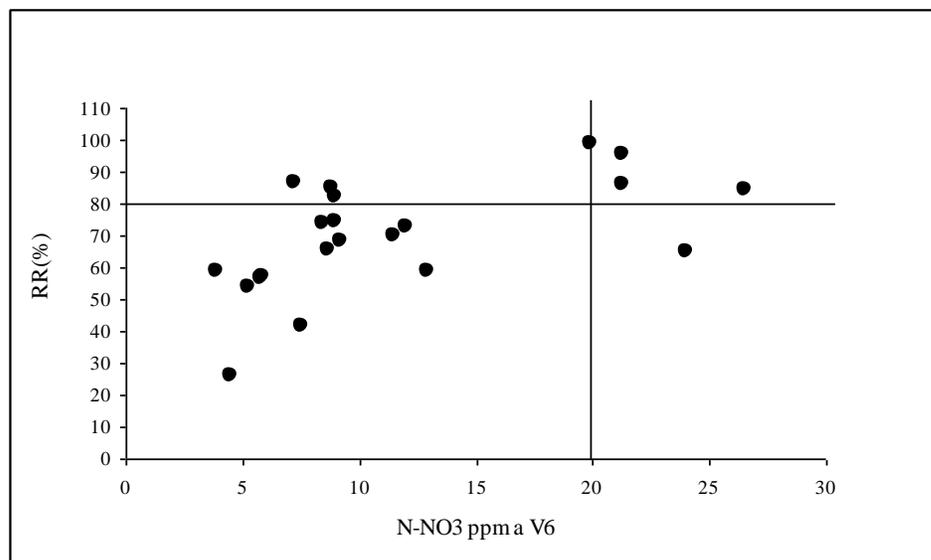
Figura 23. Relación entre el rendimiento y el contenido de NO_3^- en suelo



Si bien se podría concluir (Figura 23) que a partir de 10 ppm no habría una orientación constatada, en el sitio 4 se observó que para 20 y 26 ppm se obtuvieron valores muy cercanos al 100% mientras que para 13 ppm el rendimiento no llegó a un 60% (Figura 24). Al expresar de esta manera los resultados (RR%), además de poder relacionar los sitios, se corrobora la superioridad de recuperación del nitrógeno mineral en esta estación de crecimiento con respecto a los cultivos de ciclo otoño-invierno.

Para el sitio 2, al pasar de 6 a 12 ppm se observó un incremento en más de 1000 kg ha^{-1} en el rendimiento del testigo.

Figura 24. Relación entre el rendimiento relativo y el contenido de NO_3^- en suelo



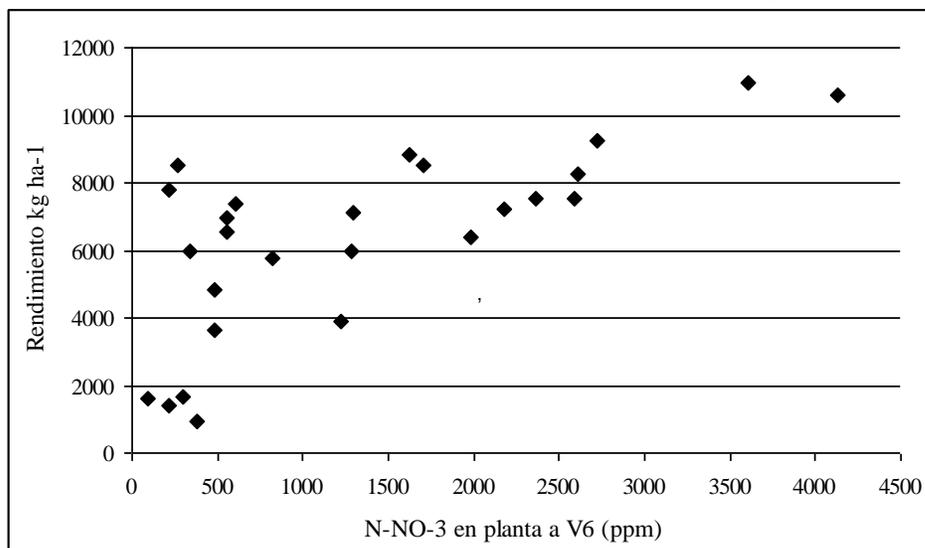
Dada la tendencia observada entre el rendimiento en grano obtenido y los contenidos de nitrato al estadio V6 en el suelo, se ajustó el modelo de Cate y Nelson (1971). Se observó un aumento lineal en el rendimiento a medida que se incrementa el contenido de NO_3^- en suelo hasta 10 ppm. A partir de 20 ppm no hubo efecto en el rendimiento ante el aumento del contenido de NO_3^- en suelo.

La ausencia de información entre 13 y 20 ppm dificultó la comprensión de la respuesta, ya que si bien son esperables las tendencias del efecto en el rendimiento al agregado de N cuando los valores están por debajo de 10 ppm y por encima de 20 ppm, no hay información clara y contundente para definir ésta para valores entre 13 y 20 ppm.

4. Relación entre el rendimiento y el contenido de NO_3^- en planta próximo V6

Considerando el rendimiento en grano no sería posible proyectar una tendencia ($p = 0.000071$ $R^2 = 0.70$) en relación al momento en que se comienza a incrementar la tasa de absorción de nitrógeno (Figura 25). Pero por encima de un contenido en planta de 2000 ppm, obtendríamos los más elevados rendimientos, no asumiendo por ello que este sería el único factor que lo determinaría.

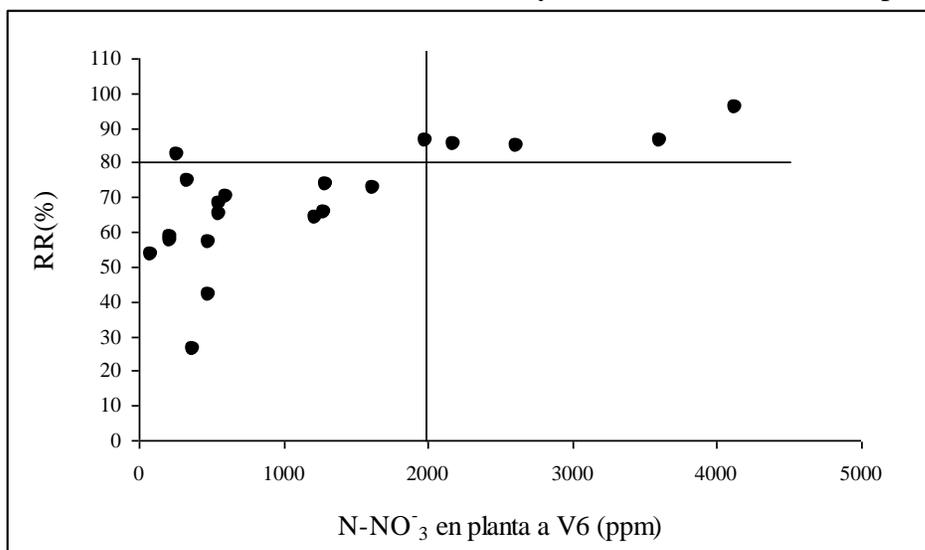
Figura 25. Relación entre el rendimiento y el contenido de NO_3^- en planta



Considerando el rendimiento relativo en grano se tornarían más comparables los resultados entre los diferentes sitios (Figura 26), pero tenemos que los valores del coeficiente de determinación disminuyeron al considerar RR.

Por encima de un contenido en planta de 2000 ppm, obtendríamos el 80 % del RR, que como tendencia podría proyectarse como nivel crítico a partir del cual poder lograr como mínimo dicho porcentaje de rendimiento máximo.

Figura 26. Relación entre el rendimiento relativo y el contenido de NO_3^- en planta



V. CONCLUSIONES

Para los nueve sitios estudiados, en siete de ellos se encontró relación entre el rendimiento y la dosis de fertilizante. Las ganancias estuvieron en el entorno de 15 a 25 kg ha⁻¹ de grano por kg de nitrógeno aplicado, excepto para los sitios 2 y 6 donde la ganancia fue de 32 y 77 kg respectivamente.

La concentración de nitrógeno, se relacionó con la dosis aplicada en siete de los nueve sitios: fue lineal para cinco de los casos y cuadrática para los otros dos. El contenido de proteína en grano determinado analíticamente para los nueve sitios, estuvo en el rango de 5,3 a 6,9 % (0,85 – 1,11 % N promedio por sitio)

Para todos los sitios, el hecho de agregar fertilizante mejoró la cantidad de N absorbido. La respuesta fue significativa en dos sitios para la dosis 80 N y en otros dos para la dosis 120 N de los nueve en estudio. La dosis 40 N mostró ser la más eficiente por unidad de nitrógeno agregada.

El número de panojas/m² se relacionó con poca consistencia al factor fertilización nitrogenada, de manera tal que no permitió observar una tendencia en algún sentido.

La tendencia en la respuesta para las variables rendimiento, concentración de N y absorción de N en grano y número de panojas/m² tuvo un comportamiento similar entre las diferentes fuentes de nitrógeno evaluadas a una única dosis de aplicación (40 N)

Los valores promedios entre el contenido de NO₃⁻ en suelo de fila y entrefila a V6 respaldó mejor la explicación de los rendimientos obtenidos, que dicho contenido individual.

Para valores entre 20 y 21 ppm de NO₃⁻ en suelo, no hubo respuesta al agregado de nitrógeno; para 15 ppm de NO₃⁻ la respuesta se dio en la dosis 40 N; y con valores por debajo de 12 ppm de NO₃⁻ en el suelo, la respuesta se observó en las dosis mayores de nitrógeno.

La respuesta en el rendimiento al incrementar el contenido de NO₃⁻ en suelo, fue apreciable para niveles medios a bajos de nitrógeno mineral en el suelo. Cuando los valores se encontraron por encima de 20 ppm, la fertilización no fue un factor limitante en el rendimiento final del cultivo.

Por encima de un contenido de NO₃⁻ en planta de 2000 ppm y considerándose dicho valor como nivel crítico, podríamos lograr como mínimo el 80 % del rendimiento máximo.

VI. RESUMEN

El aumento del área sembrada de sorgo granífero como alternativa a otros cereales con mayores exigencias en las condiciones de suelo y ambiente, así como la necesidad de mantener la producción de leche y carne, hace necesario el estudio específico de sus requerimientos nutricionales. El objetivo del trabajo fue el ajuste de un modelo de respuesta al agregado de nitrógeno durante el desarrollo de la sexta hoja (V6: momento fisiológico que resulta crítico en la determinación del rendimiento final) y la evaluación del comportamiento de diferentes fuentes nitrogenadas a una misma dosis (40 kg ha^{-1}). Los experimentos se desarrollaron durante la campaña 2009-2010 en nueve predios lecheros pertenecientes a la cuenca lechera sur. Para ajustar el modelo de respuesta se utilizaron dosis crecientes de nitrógeno con urea: 0, 40, 80, 120 kg N ha^{-1} . En la evaluación de las diferentes fuentes se utilizó urea, UAN, solmix, nitrato de amonio y sulfato de amonio. Se observó la respuesta en rendimiento, concentración de N en grano, N absorbido por el grano y número de panojas/ m^2 . La respuestas al agregado de N se encontró en el rendimiento (en siete de los nueve sitios) con una ganancia de 15 a 25 $\text{kg grano/kg N agregado}$, excepto para los sitios 2 y 6 donde la ganancia fue de 32 y 77 kg respectivamente. En la concentración de N en grano se obtuvo un contenido promedio de 0.85 a 1.11% existiendo respuesta al agregado en siete de nueve sitios; y en el N absorbido por el grano (en cuatro de nueve sitios); la dosis 40 N resultó ser la más eficiente por unidad agregada de N a pesar de que la respuesta se diera a dosis de N mayores. El número de panojas/ m^2 no mostró una relación consistente al agregado de fertilizante nitrogenado. En cuanto para las diferentes fuentes evaluadas a una misma dosis, éstas se comportaron en forma similar para las cuatro variables medidas. Los valores promedios entre el contenido de NO_3^- en suelo de fila y entrefila a V6 respaldó mejor la explicación los rendimientos obtenidos que el contenido de NO_3^- individual. Para valores entre 20 y 21 ppm de NO_3^- en suelo, no hubo respuesta al agregado de nitrógeno; para 15 ppm de NO_3^- la respuesta se dió en la dosis 40 N; y con valores por debajo de 12 ppm de NO_3^- en el suelo, la respuesta se observó en las dosis mayores de nitrógeno. La respuesta en el rendimiento al incrementar el contenido de NO_3^- en suelo fue apreciable para niveles medios a bajos de nitrógeno mineral en el suelo. Cuando los valores se encontraron por encima de 20 ppm la fertilización no fue un factor limitante en el rendimiento. Como tendencia general, por encima de un contenido de NO_3^- en planta de 2000 ppm, obtendríamos el 80 % del RR.

Palabras clave: Sorgo; Fertilización; Nitrógeno; Dosis; Fuente.

VII. SUMMARY

The increase of the area planted with grain sorghum as an alternative to other cereals with higher demands on the soil conditions and environment, and the need to keep milk and meat production is necessary to study specific nutritional requirements. The objective of this thesis was the setting of a standard response to the addition of nitrogen during the development of the sixth leaf (V6: physiological time is critical in determining the final performance) and the evaluation of the performance of different nitrogen sources with a same dose (40 kg ha⁻¹). The experiments were conducted during the 2009-2010 season, in nine dairy farms belonging to the dairy southern basin. To adjust the response model, it was used increasing doses of nitrogen in the form of urea, these were 0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹, and for the evaluation of the different sources were used urea, UAM, solmix, ammonium nitrate and ammonium sulfate. It was observed the response of yield, grain N concentration, N absorbed by the grain and number of panicles/m². Such responses to the added N was found in performance (in seven out of nine areas) with a gain of 15 to 25 kg grain/kg N added, except for sites 2 and 6 where the gain was 32 and 77 kg respectively; concentration of N in grain (in seven out of nine sites), with an average content of 0.85 to 1.11%; and in the N absorbed by the grain (four out of nine sites) where the dose 40 N proved to be the most efficient for aggregate unit N despite the fact that the answer was given at doses greater than N. The number of panicles/m² did not show a consistent relationship to the addition of nitrogen fertilizer. As for the different sources to a single dose tested, they showed a similar behavior for the four variables measured. The average values between the NO₃ content in-the-row and between-the-row of V6, helped us to explain better the returns that the NO₃ content of each one separately. For values of 20 and 21 ppm of NO₃, there was no response to the addition of N; for 15 ppm of NO₃ the response was seen for the 40 N doses; and for values below 12 ppm of NO₃ the answer took place for higher doses of N. The response in the performance by increasing the content of NO₃ in soil was significant for soils with middle to low mineral nitrogen. When the values were above 20 ppm, the fertilization was not a limiting factor in performance. As a general trend, over a content of NO₃ in plant of 2000 ppm, we would get 80% of the RR.

Keywords: Sorghum; Fertilization; Nitrogen; Dose; Source.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALCOZ, M.M.; SHABLICO, D.B.; SOBRAL, L.M. 1988. Factores de manejo que afectan la productividad potencial del sorgo granífero en el Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 105 p.
2. ALGORTA, E. J.; CARCABELOS, J. 2007. Efecto de distintas distancias entre hileras, población e híbrido de sorgo granífero en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 49 p.
3. ANTELO, J.F.; MERMOT, C.A. 1988. Efecto en la densidad y distribución en el cultivo de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 102 p.
4. ARGENTINA. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. Convenio INTA-MAA. 2002. Fertilización nitrogenada de sorgo en el sur de Buenos Aires. Chacra experimental integrada Barrow. (en línea). Buenos Aires. 4 p. Consultado 29 oct. 2010. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/Sorgo/Nit%20en%20sorgo.pdf>
5. AYALA, W.; SAWCHIK, J. 1988. Densidad de siembra en cultivares de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 110 p.
6. AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España, McGraw-Hill/Interamericana. 522 p.
7. BERNARDIS, H. O.; GARCIA P. A.; FERRERO A. R. s.f. Estructura del cultivo, fertilización nitrogenada, radiación interceptada y producción de materia seca en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en siembra directa. (en línea). Corrientes, UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. Cátedra de Cultivos I. 4 p. Consultado 05 nov. 2010. Disponible en <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2002/05-Agrarias/A-079.pdf>

8. BUAH, S.S.J.; MARANVILLE, J.W.; TRAOE, A.; BRAMEL-COX, P.J. 1998. Response of nitrogen use efficient sorghums to nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*. 21 (11): 2303 – 2318.
9. CALDERON CHINCHILLA, V. R.; HERNANDEZ VALLE, M.; MASON, S. C.; ROONEY, L. W. 2008. Influencia del nitrógeno en la calidad del grano de sorgo en El Salvador. *Agronomía Mesoamericana*. 19 (1): 47 – 56.
10. CARESANI, D.; JUANICOTENA, M.A. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la utilización de especies de un campo natural bajo pastoreo de vacunos en el período otoñal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 124 p.
11. CARRASCO, P. 2004. Aptitud climática de Uruguay para la producción de sorgo. In: Siri, G. comp. *Sorgo*. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 23 – 30.
12. CASTANEDA CHAVEZ, J. W; MASON, S.C; ARGUETA PORTILLO, Q.; VENTURA ELIAS, R.; HERNANDEZ VALLE, M.; VALENCIA, R.C. 2006. Eficiencia del uso de nitrógeno en sorgo sensible al fotoperíodo en asocio con maíz en el salvador. *Agronomía Mesoamericana*. 17 (1): 11 – 17.
13. CATE, R.B.; NELSON, L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Proceedings*. 35: 658 – 660.
14. CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS ALBERTO BOERGER. 1974. *Sorgo granífero*. La Estanzuela. Boletín de divulgación no. 25. 62 p.
15. CHAVALLIER BOUTELL, S.; TORIBIO, M. 2006. Volatilización del amoníaco. *Información técnica de trigo campaña 2006*. (en línea). Publicación Miscelánea. 105: 69-82. Consultado 20 dic. 2010. Disponible en

http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas/105/trigo2006_69.pdf

16. CORSI, W. 1982. Regionalización agroclimática del Uruguay para cultivos. CIAAB. Miscelanea no. 40. 28 p.
17. ECHEVERRÍA, H.; GARCÍA, O. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Balcarce, Argentina, INTA. 525 p.
18. ERNST, O. 2004a. Epoca de siembra. In: Siri, G. comp. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 47 – 50.
19. _____.; SIRI, G. 2004b. Fertilización. In: Siri, G. comp. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 51 – 59.
20. _____. 2004c. Implantación, población y distribución. In: Siri, G. comp. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 31 – 45.
21. FIXEN, P.E.; GROVE, J.H.1990. Testing soil for phosphorus. In: Westerman, R.L. ed. Soil testing and plant analysis. 3rd. ed. Madison, WI, ASA/SSSA. pp. 141-180 (SSSA. Book Series no. 3).
22. FONTANETTO, H.; KELLER, O. 2006. Manejo de la fertilización en maíz; experiencias en la región pampeana Argentina. Publicación Miscelánea. no. 106: 85-113.
23. FRITZ, J.S.; SCHENK, G.H. 1989. Química analítica cuantitativa. 3a.ed. México, D.F., Limusa. pp. 93-134
24. GARCIA, L.; TELLEZ, O.; MASON, S.C. 2003. Determinación del uso eficiente de nitrógeno en cuatro variedades de sorgo para grano en la zona del pacifico de Nicaragua. La Calera. 2 (3): 36 – 42.

25. _____.; _____.; _____. 2007. Efecto del nitrógeno en sorgo en Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*. 18 (2): 185 – 196.
26. GARCIA, P.A.; FERRERO, A.R.; GOUJON, M. s.f. Fertilización nitrogenada en siembra directa de Sorgo. (en línea). Corrientes, Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias. 2 p. Consultado 2 nov. 2010. Disponible en <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/5-Agrarias/A-066.pdf>
27. HANSON, R.G.; STECKER, J.A.; MALEDY, S.R. 1988. Effect of soybean rotation on the response of sorghum to fertilizer nitrogen. *Journal of Production Agriculture*. 1(4): 318 – 321.
28. HABY, V.A.; RUSSELLE, M.P.; SKOGLEY, E.O. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. *In*: Westerman, R.L. ed. *Soil testing and plant analysis*. 3rd. ed. Madison, WI, ASA/SSSA. pp. 181-227 (SSSA. Book Series no. 3).
29. HELMKE, P.A; SPARKS, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, cesium. *In*: Sparks, D.L. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, WI, ASA/SSSA. pt.3, pp. 551-574 (SSSA. Book Series no. 5).
30. HUGAR, A. Y.; JAYADEVA H. M.; RANGASWAMY, B. R.; SHIVANNA, S.; CHANDRAPPA, H. 2010. Assessing the effect of nitrogen and harvesting stages on yield and yield attributes of sweet sorghum genotypes. *Agricultural Science Digest*. 30 (2): 139 – 141.
31. INFOSTAT. 2010. Software estadístico Infostat. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. 336 p.
32. IPNI. 2007. Planilla de cálculo para estimar requerimientos nutricionales de cultivos de cereales, oleaginosas, forrajeras e industriales. Acassuso, Argentina. s.p.
33. IRIGOYEN, A.; PERRACHON, J. 2007. Sorgo granífero. *Revista del Plan Agropecuario*. no. 123: 52 - 55.

34. JONES, Jr.J.B.; CASE, V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. *In*: Westerman, R.L. ed. soil testing and plant analysis. 3rd. ed. Madison, WI, ASA/SSSA. pp. 389-427 (SSSA. Book Series no. 3).
35. KAMOSHITA, A.; FUKAI, S.; MUCHOW, R.C.; COOPER, M. 1998. Genotypic variation for grain yield and grain nitrogen concentration among sorghum hybrids under different levels of nitrogen fertiliser and water supply. *Australian Journal of Agricultural Research*. 49. 737 – 747.
36. KEGODE, G. O.; BISHNOI, U. R.; MAYS, D. A. 1994. The influence of johnsongrass infestation and nitrogen rates on grain sorghum. *Journal Agronomy and Crop Science*. 172: 242 – 246.
37. KHOSLA, R.; ALLEY, M. M.; DAVIS, P. H. 2000. Nitrogen management in no-tillage grain sorghum production. Rate and time of application. *Agronomy Journal*. 92: 321 – 328.
38. KUO, S. 1996. Phosphorus. *In*: Sparks, D.L. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 869-920 (SSSA. Book Series no. 5).
39. LAMOND, R. E.; WHITNEY, D. A.; HICKMAN, J. S.; BONEZKOWSKI, L. C. 1991. Nitrogen rate and placement for grain sorghum production in no-tillage systems. *Journal of Production Agriculture*. 4 (4): 531 – 535.
40. LAVADO, S. R.; RIMSKI-KORSAKOV, H. s.f. Cuantificación de la pérdida de nitratos por lixiviación en dos suelos de la Pcia. de Buenos Aires. (en línea). Buenos Aires, Argentina, Facultad de Agronomía. 5 p. Consultado 15 abr. 2011. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/suelos/contamina/Lavado.pdf>
41. MC LEAN, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. *In*: Page, A.L. eds. *Methods of soil analysis*. 2nd. ed. Madison, WI, ASA/SSSA. pt.2, pp. 199-224 (SSSA. Agronomy Series no. 9).

42. MUCHOW, R.C. 1990. Effect of nitrogen on partitioning and yield in grain sorghum under different environmental conditions in the semi-arid tropics. *Field Crops Research*. 25: 265 – 278.
43. MULVANEY, R.L. 1996. Nitrogen inorganic forms. In: Sparks, D.L. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 1123-1184 (SSSA. Book Series no. 5).
44. MUSICK, J.T.; GRIMES, D.W.; HERRON, G.M. 1963. Irrigation and water management nitrogen fertilization of grain sorghum. *Agronomy Journal*. 55: 295-298.
45. NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 961-1010 (SSSA. Book Series no. 5).
46. OLSON, R.A.; KURTZ, L.T. 1982. Crop nitrogen requirement, utilization, and fertilization. In: Stevenson, F.J. *Nitrogen in agricultural soils*. Agronomy monograph. Madison, WI, ASA/SSSA. pp. 567 – 604 (SSSA. Book Series no. 22).
47. PARIETTI, E.; PORRO, J.J. 1986. Evaluación del daño de malezas en el cultivo de sorgo granífero para diferentes distancias entre hileras y fertilización nitrogenada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 114 p.
48. PERDOMO, C.; BARBAZAN, M. 1999. Nitrógeno. Montevideo, Facultad de Agronomía. 74 p.
49. ROY, R.N.; WRIGHT, B.C. 1973. Sorghum growth and nutrient uptake in relation to soil fertility. Dry matter accumulation patterns, yield and nitrogen content on grain. *Agronomy Journal*. 65 (5): 709-711.
50. SAS INSTITUTE. 1990. SAS user guide; statistics, version 5 and 6 editions. Cray, NC. s.p.

51. SCHAFFNER, V.; SPRUNCK, M. 2009. Respuesta a la población en sorgo granífero de segunda zona sur. Montevideo, Facultad de Agronomía. 83 p.
52. SUAREZ, D.L. 1996 Beryllium, magnesium, calcium, strontium, and barium. In: Sparks, D.L. ed. Methods of soil analysis. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 575-601 (SSSA. Book Series no. 5).
53. THOMAS G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. ed. Methods of soil analysis. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 475-490 (SSSA. Book Series no. 5).
54. TISDALE, S.L. ; NELSON, W.L. 1970. Fertilidad de los suelos y los fertilizantes. Barcelona, España, Montaner y Simon. 760 p
55. TRAOE, A.; MARANVILLE, J. W. 1999. Effect of nitrate/ammonium ratio on biomass production, nitrogen accumulation, and use efficiency in sorghums of different origin. *Journal of Plant Nutrition*. 22 (4-5): 813 – 825.
56. TURGUT, U.; BILGILI, A.; DUMAN.; ACIKGOZ, E. 2005. Production of sweet sorghum (sorghum bicolor L.Monech) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizaer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B-Soil and Plant*. 55: 236 – 240.
57. WRIGHT, R.J.; STUCZYNSKI, T.I. 1996. Atomic absortion and flame emission spectrometry. In: Sparks, D.L. ed. Methods of soil analysis. Madison, WI, ASA/SSSA. pt. 3, pp. 65-90 (SSSA. Book Series no. 5).
58. ZAMORA, M.; MELIN, A.; MASSIGOGE, J. s.f. Fertilización nitrogenada en sorgo; campaña 2007- 08. (en línea). *Agro Barrow*. 42: 11 - 13. Consultado 29 oct. 2010. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrobarrow%2042/Fertilizacion%20nitrogenada%20de%20sorgo.pdf>

59. _____.; _____.; BALDA, S. 2010. Manejo del cultivo de sorgo; efecto de la densidad y la fertilización. (en línea). Buenos Aires, INTA. 4 p. Consultado 01 nov. 2010 Disponible en <http://www.inta.gov.ar/cuenca/info/documentos/agricultura/densidad%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20en%20sorgo.pdf>

IV. ANEXO

1. CUADROS POR SITIO

a. Sitio 1

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	10940	15	0,92
40	1	10042	13	0,86
80	1	10762	15	1,14
120	1	12678	17	1,11
0	2	10600	13	0,83
40	2	12764	13	0,81
80	2	9407	14	1,14
120	2	11070	13	1,14
0	3	7552	11	0,81
40	3	12912	20	1,07
80	3	10346	11	0,99
120	3	13050	15	1,02

* Valores de materia seca: 58 – 62 %.

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	10042	13	0,86
NuS	1	10975	16	1,21
M	1	10812	16	1,08
UAN	1	10674	13	1,02
NA	1	11995	16	1,09
Nu	2	12764	13	0,81
NuS	2	7180	10	0,97
M	2	9909	11	1,11
UAN	2	9075	12	1,14
NA	2	7932	10	1,12
Nu	3	12912	20	1,07
NuS	3	9257	10	1,00
M	3	10285	13	1,02
UAN	3	8595	10	1,11
NA	3	9561	17	1,03

* Valores de materia seca: 59 – 62 %.

b. Sitio 2

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)o
0	1	8829	25	0,83
40	1	11331	23	1,03
80	1	9300	21	1,00
120	1	12155	24	1,30
0	2	8544	18	0,71
40	2	8467	22	0,74
80	2	13722	30	0,95
120	2	10394	14	1,09
0	3	7771	23	0,77
40	3	10049	24	0,89
80	3	12242	23	0,97
120	3	13522	30	1,09

* Valores de materia seca: 61 – 74 %

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	11331	23	1,03
NuS	1	11875	22	1,15
M	1	10944	27	0,92
UAN	1	10273	23	0,83
NA	1	12839	32	1,00
Nu	2	8467	22	0,74
NuS	2	13402	28	0,83
M	2	15415	25	0,89
UAN	2	12288	28	0,86
NA	2	10295	22	1,00
Nu	3	10049	24	0,89
NuS	3	9740	23	0,83
M	3	11365	22	0,92
UAN	3	10430	21	0,95
NA	3	11418	21	0,83

* Valores de materia seca: 67 – 74 %

c. Sitio 3

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	3911	9	0,92
40	1	4239	8	1,15
80	1	5434	8	1,21
120	1	6121	9	1,18
0	2	8502	8	0,97
40	2	5529	11	1,15
80	2	4542	10	1,24
120	2	4831	7	1,27
0	3	6385	10	0,83
40	3	4770	9	1,12
80	3	7028	13	1,00
120	3	7390	10	1,21

* Valores de materia seca: 59 - 66 %

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	4239	8	1,15
NuS	1	3743	9	1,06
M	1	4056	8	1,21
UAN	1	4875	12	1,06
NA	1	4422	8	1,18
Nu	2	5529	11	1,15
NuS	2	5701	8	1,09
M	2	6136	11	1,06
UAN	2	5876	10	1,00
NA	2	4454	9	1,15
Nu	3	4770	9	1,12
NuS	3	5669	10	1,00
M	3	3728	8	1,51
UAN	3	5257	9	1,24
NA	3	5244	9	1,21

* Valores de materia seca: 58 - 69%

d. Sitio 4

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	8281	12	0,96
40	1	10711	12	1,20
80	1	8095	10	1,28
120	1	9787	11	1,20
0	2	9253	21	0,93
40	2	9191	14	1,08
80	2	9399	12	1,08
120	2	9166	14	1,20
0	3	7521	19	0,96
40	3	7882	18	1,00
80	3	10215	16	1,05
120	3	12715	14	1,28

* Valores de materia seca: 71 - 76%

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	10711	12	1,20
NuS	1	8792	11	0,71
M	1	9603	17	0,99
UAN	1	6878	13	1,14
NA	1	6632	11	1,00
Nu	2	9191	14	1,08
NuS	2	7911	15	0,83
M	2	9174	12	1,23
UAN	2	10007	20	0,99
NA	2	9820	16	0,95
Nu	3	7882	18	1,00
NuS	3	9145	15	0,86
M	3	4747	10	1,02
UAN	3	8024	14	1,02
NA	3	8626	18	1,06

* Valores de materia seca: 70 - 81 %

e. Sitio 5

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	6950	21	0,86
40	1	6264	13	0,86
80	1	7481	19	0,89
120	1	10203	22	0,97
0	2	7357	21	0,89
40	2	9694	22	0,95
80	2	9087	24	0,92
120	2	10486	24	0,89
0	3	6521	20	0,80
40	3	9310	26	0,86
80	3	8620	21	0,86
120	3	10028	20	0,95

* Valores de materia seca: 72 - 78%

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	6264	13	0,86
NuS	1	6664	19	0,89
M	1	8091	19	0,83
UAN	1	7633	24	0,83
NA	1	8107	20	0,97
Nu	2	9694	22	0,95
NuS	2	8407	19	0,89
M	2	9772	22	0,86
UAN	2	7935	18	0,89
NA	2	8562	24	0,92
Nu	3	9310	26	0,86
NuS	3	8000	22	0,86
M	3	9410	21	0,89
UAN	3	9760	23	0,92
NA	3	12180	27	0,86

* Valores de materia seca: 73 - 81%

f. Sitio 6

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	-	-	-
40	1	6768	15	0,83
80	1	7561	17	0,92
120	1	8193	19	0,86
0	2	1643	15	0,83
40	2	7885	17	0,77
80	2	9892	20	0,89
120	2	6220	16	0,86
0	3	5996	19	0,80
40	3	6029	21	0,95
80	3	5736	15	0,88
120	3	8033	14	1,07

* Valores de materia seca: 55 - 61%

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	6768	15	0,83
NuS	1	8240	18	0,81
M	1	8037	13	0,98
UAN	1	9111	17	0,89
NA	1	7663	20	0,81
Nu	2	7885	17	0,77
NuS	2	4626	21	0,94
M	2	7676	13	0,81
UAN	2	12453	18	0,95
NA	2	9727	20	0,83
Nu	3	6029	21	0,95
NuS	3	6511	20	0,83
M	3	2955	17	1,07
UAN	3	6518	18	0,78
NA	3	4703	21	0,86

* Valores de materia seca: 46 - 61%

g. Sitio 7

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	5959	18	0,95
40	1	6815	23	0,94
80	1	7921	23	0,95
120	1	9072	25	0,83
0	2	7134	14	0,89
40	2	6674	23	0,83
80	2	9153	23	0,95
120	2	9656	17	0,92
0	3	7238	23	0,88
40	3	8535	21	0,86
80	3	9517	19	0,83
120	3	8492	25	0,81

* Valores de materia seca: 60 - 67%

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	6815	23	0,94
NuS	1	6215	21	0,85
M	1	8252	19	0,79
UAN	1	8205	23	0,73
NA	1	9416	18	0,88
Nu	2	6674	23	0,83
NuS	2	9391	22	0,91
M	2	7184	22	0,79
UAN	2	10377	25	0,79
NA	2	7621	24	0,85
Nu	3	8535	21	0,86
NuS	3	7671	25	0,82
M	3	8398	19	0,76
UAN	3	8443	21	0,82
NA	3	8451	18	0,85

* Valores de materia seca: 59 - 64%

h. Sitio 8

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	1420	9	1,00
40	1	1930	11	1,08
80	1	2965	17	1,04
120	1	2421	11	1,24
0	2	943	13	1,00
40	2	2189	15	0,97
80	2	3144	14	1,04
120	2	3625	15	1,16
0	3	1603	13	1,03
40	3	1920	15	0,91
80	3	2842	15	1,10
120	3	2988	14	1,22

* Valores de materia seca: 42 - 48%

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	1930	11	1,08
NuS	1	1102	9	0,98
M	1	1736	14	1,04
UAN	1	3133	13	0,95
NA	1	1965	13	1,04
Nu	2	2189	15	0,97
NuS	2	2309	13	0,98
M	2	2391	12	1,10
UAN	2	675	9	1,10
NA	2	2584	16	0,98
Nu	3	1920	15	0,91
NuS	3	2367	16	0,98
M	3	2313	11	1,01
UAN	3	2723	13	1,01
NA	3	1881	12	1,04

* Valores de materia seca: 41 - 51%

i. Sitio 9

1. Respuesta en el rendimiento a dosis crecientes de urea (Nu)

Dosis	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
0	1	4822	17	0,82
40	1	4333	12	0,85
80	1	5576	20	0,88
120	1	8469	13	0,91
0	2	5778	21	0,76
40	2	5987	19	0,79
80	2	5788	14	0,88
120	2	5635	13	0,94
0	3	3630	18	0,82
40	3	5687	18	0,79
80	3	5557	13	0,82
120	3	8681	9	0,94

* Valores de materia seca: 57 - 64%

2. Respuesta en el rendimiento a diferentes fuentes de N (dosis 40 kg ha⁻¹)

Fuente	Bloque	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	No. de panojas/m ²	N en grano (%)
Nu	1	4333	12	0.85
NuS	1	6460	19	0.75
M	1	3568	12	0.82
UAN	1	7240	20	0.70
NA	1	4287	14	0,79
Nu	2	5987	19	0.79
NuS	2	6500	16	0.76
M	2	7924	19	0.76
UAN	2	7230	11	0.76
NA	2	6628	18	0,76
Nu	3	5687	18	0.79
NuS	3	7897	19	0.91
M	3	5353	12	0.76
UAN	3	6735	18	0.82
NA	3	7197	18	0.83

* Valores de materia seca: 57 - 66%

2. CONTENIDO DE NO₃⁻ EN SUELO

SITIO	Bloque	NO ₃ ⁻ (ppm)	
		Fila	Entrefila
1	1	16	27
	2	13	30
	3	15	28
2	1	15	9
	2	12	6
	3	7	4
3	1	11	12
	2	6	6
	3	6	9
4	1	29	24
	2	21	19
	3	10	16
5	1	9	9
	2	11	12
	3	16	32
6	1	17	18
	2	7	22
	3	7	11
7	1	6	11
	2	9	8
	3	8	10
8	1	5	3
	2	6	3
	3	6	4
9	1	6	6
	2	8	8
	3	7	8

3. CONTENIDO DE NO₃⁻ EN PLANTA

SITIO	Bloque	NO ₃ ⁻ en planta (ppm)
1	1	3606
	2	4134
	3	2362
2	1	1621
	2	267
	3	214
3	1	1222
	2	1707
	3	1984
4	1	2610
	2	2720
	3	2588
5	1	553
	2	610
	3	553
6	1	526
	2	302
	3	341
7	1	1280
	2	1293
	3	2178
8	1	218
	2	377
	3	90
9	1	482
	2	817
	3	487