

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN ELONGACIÓN
SEGÚN NIVEL NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE CANOLA (*Brassica napus*)**

por

**Juan Eduardo ADROVER ZALDÚA
Mario Enrique FERREIRA DONNINI**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2012**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

Ing. Agr. Esteban Martín Hoffman Berasain

Ing. Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

Fecha:

26 de diciembre de 2012

Autor:

Juan Eduardo Adrover Zaldúa

Mario Enrique Ferreira Donnini

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Gonzalo Ferreira por sus aportes en la revisión, ayuda en los muestreos, análisis de datos así como durante todo el desarrollo de esta tesis.

A la empresa EL Tejar por permitirnos realizar los ensayos en su campo.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Agr. Oswaldo Ernst por los aportes realizados en la corrección, así como los conocimientos aportados.

A los Ings. Agrs. Sebastián Mazzilli y Esteban Hoffman por aportes realizados.

A nuestras familias y amigos por el apoyo brindado en todos estos años.

A la Lic. Sully Toledo por la corrección del trabajo.

A personal de laboratorio No.1 y a todos quienes hicieron posible la realización de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 <u>ORIGEN E HISTORIA DEL CULTIVO</u>	3
2.2 <u>TIPOS DE COLZA</u>	4
2.3 <u>IMPORTANCIA DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA Y</u> <u>AZUFRA</u>	5
2.3.1 <u>Nitrógeno</u>	5
2.3.1.1 <u>Nitrógeno en planta</u>	6
2.3.1.2 <u>Concentraciones de N en cultivares invernales</u>	7
2.3.1.3 <u>Concentraciones de N en cultivares primaverales</u>	7
2.3.1.4 <u>Síntomas de deficiencia</u>	8
2.3.2 <u>Azufre</u>	8
2.3.2.1 <u>Azufre en planta</u>	9
2.3.2.2 <u>Concentraciones de S en cultivares invernales</u>	9
2.3.2.3 <u>Concentraciones de S en cultivares primaverales</u>	10
2.3.2.4 <u>Síntoma de deficiencia</u>	10
2.4 <u>INTERACCIÓN ENTRE NITRÓGENO Y AZUFRE</u>	11
2.5 <u>FRACCIONAMIENTO</u>	12
2.6 <u>MOMENTO DE APLICACIÓN</u>	13
2.7 <u>REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO</u>	13
2.8 <u>RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN</u>	16
2.8.1 <u>Respuesta a la fertilización en cultivares invernales</u>	16
2.8.2 <u>Respuesta a la fertilización en cultivares primaverales</u>	17
2.9 <u>COMPONENTES RENDIMIENTO</u>	19
2.10 <u>POTENCIAL DE RENDIMIENTO EN CULTIVARES</u> <u>INVERNALES</u>	19
2.11 <u>POTENCIAL DE RENDIMIENTO EN CULTIVARES</u> <u>PRIMAVERALES</u>	20
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	21
3.1 <u>MANEJO DEL CULTIVO</u>	21
3.2 <u>DETERMINACIONES</u>	24
3.2.1 <u>Trabajo de campo</u>	24

3.2.1.1 Datos climáticos.....	24
3.2.1.2 Muestreo suelo.....	24
3.2.1.3 Disponibilidad de materia seca.....	25
3.2.1.4 Población.....	25
3.2.2 Trabajo de laboratorio.....	25
3.2.2.1 Biomasa aérea.....	25
3.2.2.2 Nitratos en suelo.....	26
3.2.2.3 Textura.....	26
3.2.2.4 Nutrientes en planta.....	26
3.2.2.5 Componentes del rendimiento.....	26
3.2.2.6 Cosecha.....	26
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO.....	29
4.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	30
4.2.1 <u>Árbol de clasificación y regresión del rendimiento en grano considerando la población de datos obtenida a partir de los dos experimentos juntos</u>	33
4.2.2 <u>Componentes del rendimiento</u>	36
4.2.2.1 Peso de grano.....	40
4.2.2.2 Silicuas por superficie.....	41
4.2.2.3 Granos por silicua.....	42
4.3 CONTENIDO DE NITRÓGENO EN ELONGACIÓN COMO INDICADOR DEL ESTADO NUTRICIONAL Y PREDICTOR DE RESPUESTA A NITRÓGENO.....	44
4.3.1 <u>Rendimiento relativo en función del contenido de nitrógeno a elongación como diagnóstico de la necesidad de re fertilizar con N</u>	44
4.3.2 <u>Efecto sobre los componentes del rendimiento</u>	51
4.3.3 <u>Efecto de la dosis en roseta sobre el porcentaje de nitrógeno a elongación</u>	52
4.3.3.1 Efecto de la dosis a roseta y elongación sobre el rendimiento relativo.....	53
5. <u>CONCLUSIONES</u>	56
6. <u>RESUMEN</u>	57
7. <u>SUMMARY</u>	58
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	59

9. ANEXOS..... 66

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Dosis de N y estadio del cultivo al momento de la aplicación en la zona baja.....	22
2. Dosis de N y estadio del cultivo al momento de la aplicación en la zona alta.....	23
3. Manejo del cultivo en los ensayos.....	24
4. Eventos fisiológicos y fecha medida de ocurrencia para ambos ensayos.....	29
5. Análisis de varianza con profundidad de suelo como covariable.....	30
6. Valores medios y variabilidad del estado nutricional del cultivo, la producción de biomasa y el rendimiento en grano obtenidos a partir de los dos experimentos.....	31
7. Descripción estadística de los componentes del rendimiento.....	32
8. Variables que afectan el rendimiento y sus componentes.....	43
9. Análisis de varianza para rendimiento relativo, % de nitrógeno y contenido de azufre para las parcelas fertilizadas en estadio de elongación.....	45
10. Análisis de varianza para componentes del rendimiento.....	46
11. Análisis de varianza con interacción entre grupo de respuesta y dosis a elongación para rendimiento relativo.....	47
12. Análisis de varianza con interacción entre grupo de respuesta y dosis a elongación para silicuas, granos y peso de mil granos.....	49
13. Análisis de regresión lineal para componentes del rendimiento.....	52

14. Análisis de varianza para porcentaje de nitrógeno a elongación en función de las dosis aplicadas a roseta.....	53
15. Análisis de varianza para rendimiento relativo en función de la dosis a roseta y elongación.....	54

Figura No.

1. Comparaciones de precipitaciones y temperaturas registradas en el año 2011 en el ensayo con serie histórica 1961-1990.....	29
2. Árbol de clasificación y regresión para rendimiento en grano en función de la fertilización nitrogenada, el estado nutricional del cultivo y producción de biomasa al estadio C1.....	33
3. Árbol de clasificación y regresión para rendimiento en zona alta.....	34
4. Árbol de clasificación y regresión para rendimiento zona baja.....	35
5. Árbol de clasificación y regresión para componentes del rendimiento..	36
6. Relación entre rendimiento relativo y sus componentes.....	38
7. Relación entre rendimiento relativo e índice de cosecha (G) y materia seca a cosecha (H).....	38
8. Árbol de clasificación y regresión para peso de mil granos (PMG).....	40
9. Árbol de clasificación y regresión para silicuas por superficie.....	41
10. Árbol de clasificación y regresión para granos por silicua.....	42
11. Rendimiento relativo en función de la concentración de nitrógeno en planta en el estadio C1 para los tratamientos sin fertilización en C1 (Sin N) y con 30, 60, 90 y 120 kg.ha ⁻¹ de N aplicados en C1 (Con N).....	44

12. Rendimiento relativo en función de las dosis en C1 según grupo de respuesta a la fertilización.....	47
13. Rendimiento relativo en función de la dosis de nitrógeno agregada en elongación para rangos de estado nutricional en el mismo momento.....	50
14. Efecto del %N en elongación sobre el PMG (A) y silicuas por superficie (B).....	51

1. INTRODUCCIÓN

La colza es una oleaginosa invernal de origen asiático, perteneciente a la familia de las crucíferas que comprende tres especies: *Brassica napus*, *B. rapa (ex campestris)* y *B. Juncea* (Kimber y McGregor, 1995).

Según el USDA (2003), se cultivaron 24 millones de hectáreas en el mundo, siendo China uno de los principales productores de colza, con 7 millones de hectáreas.

La producción se centra en los países asiáticos China e India con el 39% de la producción mundial, un 26% la Unión Europea (Francia, Alemania, Inglaterra y Suecia), y Canadá produce un 19% (USDA, 2010).

En Argentina ha ocupado un área entorno a las 40.000 hectáreas en las últimas campañas (ARGENTINA. MAGP, citado por Agosti, 2011).

En Uruguay, el área para el año 2011 es entorno a las 4.000 hectáreas (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011). Según la publicación digital del portal Infoagro (2012), realizada al responsable del área agrícola de ALUR, el área realizada bajo contrato con dicha empresa en el año 2011 osciló entorno a las 7 mil hectáreas.

Según los antecedentes en el país, se demuestra al cultivo como viable, ya sea por su adaptación biológica como por su potencial económico, además de las ventajas agronómicas que este cultivo representaría en un sistema de rotaciones (Martino y Ponce de León, 1999).

A pesar del reciente impulso por ALUR para producción de biocombustibles, el desconocimiento sobre el manejo del cultivo, principalmente lo referido a la estrategia de fertilización y la correcta elección de cultivares, son las principales causas de los bajos rendimientos, lo que provoca una baja aceptación por parte de los productores.

Frente a un sistema de comercialización bajo contrato, y precios entorno a los 500 dólares por tonelada, surge el cultivo de canola como una alternativa interesante en la producción invernal.

Para un mejor manejo agronómico y ambiental de la fertilización del cultivo se desarrolla esta tesis de forma de levantar una de las principales limitantes en el desarrollo y adaptación del cultivo en el país.

Esta tesis se basa en la validación a campo de resultados experimentales obtenidos en una tesis de postgrado en la cual se busca obtener rangos de suficiencia de nitrógeno para distintos estadios de crecimiento y relacionarlo con la respuesta esperada a la fertilización nitrogenada.

Como hipótesis principal se plantea que la respuesta al agregado de fertilizante nitrogenado del cultivo de canola puede ser predicha utilizando el estado nutricional del cultivo en elongación (C1).

El objetivo es verificar la relación entre el contenido de nitrógeno y azufre en planta, dosis de fertilizante nitrogenado y rendimiento en grano del cultivo propuesto a nivel experimental.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEN E HISTORIA DEL CULTIVO

Figura entre los primeros cultivos aprovechados por el hombre existiendo evidencias de su uso en India varios siglos antes de Cristo, pasando a China y Japón en el comienzo de la era cristiana. Más tarde se cultivó en Europa, debido a la capacidad del cultivo de crecer y desarrollarse con bajas temperaturas, lo que la hace una de las pocas oleaginosas aptas para ser cultivada en zonas templadas y frías. Fue utilizada fundamentalmente como aceite industrial y para iluminación, dado que produce una llama blanca sin humo; luego se descubrieron sus propiedades como aceite lubricante para metales en ambientes de alta humedad o en contacto con el agua (Iriarte, 2002b).

Durante la segunda guerra mundial, debido al bloqueo a Europa y Asia, principales productores de aceite de colza en ese momento, hizo que el cultivo fuera introducido y desarrollado en Canadá con fines de obtener aceites lubricantes. Las primeras semillas de *Brassica Napus* llevadas a Canadá procedían de Argentina, y las de *Brassica Campestris* fueron llevadas desde Polonia. Al finalizar la guerra, Canadá comenzó con el mejoramiento genético con el fin de obtener aceite comestible (Iriarte, 2002a).

En la década del 50 comienzan los cuestionamientos nutricionales del aceite debido al alto contenido de ácidos grasos, principalmente erúcico. Las variedades de colza contenían entre un 25 y 50% de éste ácido. En 1966 se obtuvo la variedad Oro, con bajo contenido del mismo (Iriarte, 2002a).

A fines de la década del 60 se descubrió en un cultivar de origen Polaco la fuente genética que presentaba bajos contenidos de glucosinolatos y se incorporó a los programas de mejoramiento genético, lográndose combinar con los materiales de bajo contenido de ácido erúcico, obteniéndose así, variedades con bajos contenidos para ambas características, denominándolas CANOLA (Canadian Oil Low Acid), para identificar fácilmente a éste producto diferenciado (Iriarte, 2002b).

En la actualidad los requerimientos de calidad es menor al 2 % de ácido erúcico en el aceite y menos de 30 micro-moles de glucosinolatos por gramo de sólido seco y libre de aceite (Thomas, 2004).

2.2 TIPOS DE COLZA

Dentro de las especies *Brassica Napus* y *B. Campestris*, se pueden agrupar las variedades según el requerimiento de frío para inducir la floración. Las de tipo invernal, requieren vernalización para inducir la floración, y pueden presentar alto o bajo requerimiento; las de tipo primaveral no necesitan vernalización. Las primeras son las utilizadas en Europa, tienen alto potencial de rendimiento, y las segundas, se cultivan principalmente en Canadá y Australia, y pueden diferenciarse por el largo de ciclo (primaverales cortas, intermedias y largas) (Iriarte, 2002a).

Para el caso de las primaverales, el largo del ciclo de emergencia a madurez fisiológica para Argentina es de 150 a 170 días, de 170 a 195 días, para los ciclos cortos y medios respectivamente. El ciclo de las variedades invernales varía entre 215 a 230 días, en fechas de siembra de mediados de abril (Agosti, 2011). En Uruguay, variedades primaverales sembradas a mediados de mayo, tienen un ciclo a madurez fisiológica de 150 días (Planchón y Figares, 2004). Según evaluación nacional de cultivares (INIA, 2010), para cultivares invernales sembrados en mayo, el largo de ciclo a fin de floración es de 195 días. En casos de atrasos en la fecha de siembra, los ciclos se acortan en todas las variedades, siendo mayor el impacto en las invernales.

A nivel técnico-productivo, se conceptualiza que los genotipos invernales presentan siempre mayor potencial de rendimiento respecto a las primaverales, debido a su mayor acumulación de biomasa durante un mayor período de tiempo. Dicho potencial se manifiesta en ambientes productivos, como es el caso de Alemania y Francia, donde es posible cubrir los requerimientos de frío y donde el riesgo de ocurrencias de altas temperaturas post-floración es bajo (Agosti, 2011).

En nuestras condiciones climáticas, dependiendo del año, estas variedades pueden no expresar su potencial de rendimiento, en el caso de prolongar en exceso la etapa vegetativa, ubicando el llenado de grano en condiciones ambientales desfavorables.

Según Aksouh-Harradj et al., citados por Agosti (2011), efectos ambientales, tales como altas temperaturas (mayores a 28°C), u ocurrencia de heladas en etapa de post-floración pueden afectar el período de llenado de grano y la acumulación de aceite en el grano.

2.3 IMPORTANCIA DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA Y AZUFRADE

La colza es una especie oleaginosa con altos requerimientos nutricionales de nitrógeno (N) y azufre (S) (Canola Council of Canada, 2002). Presenta una gran respuesta a la fertilización nitrogenada y además es más sensible que los cereales a las deficiencias de azufre, presentando mejoras en la eficiencia de uso del nitrógeno cuando se fertiliza complementariamente con azufre (Gambaudo y Fontanetto, citados por Agosti, 2011).

2.3.1 Nitrógeno

Este nutriente está asociado a la síntesis de proteínas, clorofila, nucleótidos, aminoácidos y ácidos nucleídos (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

La mayor fuente de almacenamiento de nitrógeno se encuentra en la materia orgánica del suelo, la cual es descompuesta por los microorganismos, los que convierten el nitrógeno orgánico en amonio (NH_4) y nitrato (NO_3), formas en que pueden ser absorbidas por las plantas. Condiciones edáficas y climáticas afectan estos procesos (Canola Council, 2002). La disponibilidad de agua en el suelo es uno de los factores que afectan la respuesta al nitrógeno, y a su vez, el nitrógeno afecta la eficiencia de uso del agua por parte de la planta (Nattal, citado por Martino y Ponce de León, 1999). Esto es debido a que una mayor fertilización nitrogenada permite desarrollar una canopía más densa cubriendo el suelo más rápidamente reduciendo la evaporación. Sin embargo, en caso de que las reservas de humedad del suelo disminuyan, al promover el nitrógeno el desarrollo vegetativo, se incrementa el riesgo de que el cultivo sufra estrés hídrico durante la etapa de llenado de grano (Hoking et al., 1997).

Cuando la disponibilidad de este nutriente es adecuada, se pueden lograr altos rendimientos, debido a un mayor crecimiento y más vigor de la planta, todo lo cual se traduce en una mayor área fotosintéticamente activa y mayor duración de ésta, lo que permite una mayor interceptación de la radiación incidente, junto a un alargamiento de la etapa de floración y una mayor duración de las hojas luego de ésta etapa. Todo esto, impacta sobre los componentes del rendimiento, aumentando el número de racimos florales y disminuyendo el aborto de flores. Como consecuencia, aumenta el número de silicuas por unidad de superficie, sin afectar de forma importante el peso de grano así como el número de éstos por silicua (García, Grant, Hocking, citados por Martino y Ponce de León, 1999). Allien y Morgan, citados por Tamagno et al. (1999) afirman que la fertilización nitrogenada mejora el índice de área foliar, el peso total de la planta, número de frutos y el número de semillas por fruto.

Incrementos en el suministro de nitrógeno, incrementa la formación de proteína y por lo tanto el crecimiento general, así como de tallos superiores y silicuas, productores de asimilados para la producción de semillas (Almond et al., 1986). Esto es coincidente con lo mencionado por Agosti (2011), el cual hace referencia a la particularidad que posee el cultivo de reemplazar la fotosíntesis de hojas por silicuas en etapa de floración.

Sin embargo, dosis excesivas de nitrógeno, pueden provocar el vuelco de plantas, lo cual obstaculiza la traslocación para el llenado de los granos, ocasionando pérdidas de rendimiento por dificultar la operativa de cosecha (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999), así como una elevada producción de proteína que cause una disminución en el contenido de aceite (Almond et al., 1986).

El efecto negativo de la fertilización con nitrógeno sobre el contenido de aceite del grano ha sido motivo de estudio tanto en colza como en otras oleaginosas (Rathke, Hocking, Asare y Scarisbrick, Holmes y Ainsley, citados por Agosti, 2011). Si bien un exceso de nitrógeno puede causar una disminución en el porcentaje de aceite en el grano, no son totalmente claros los mecanismos fisiológicos que llevan a ésta respuesta (Triboi y Triboi-Blondel, citados por Agosti, 2011). La cantidad total de aceite producida por hectárea se podría mantener constante o aumentar, debido a una mayor producción de grano (Martino y Ponce de León, 1999). Según Agosti (2011), la caída en el porcentaje de aceite fue menos que proporcional al aumento del rendimiento, por lo cual el rendimiento de aceite en kilos se incrementó ante una mayor oferta de nitrógeno.

Excesos de este nutriente también ocasionan mayor susceptibilidad a enfermedades, particularmente Phoma (Iriarte, 2002a).

2.3.1.1 Nitrógeno en planta

El nivel de nitratos en tejido vivo ha demostrado ser un buen indicador del nivel de nitrógeno que hubo disponible en el suelo, si bien la concentración relativa en los distintos tejidos de la planta varía dada la movilidad de éste nutriente dentro de la misma, así como también depende del estado fenológico en que se encuentre, siendo mayor el contenido de nitrógeno en hoja al comienzo de floración, y en tallo al final de ésta (Hocking, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

Del total del nitrógeno absorbido por el cultivo de canola, aproximadamente el 80% se concentra en la semilla, estando el restante 20% distribuido en tallos, hojas y silicuas (Pinilla, 2008).

2.3.1.2 Concentraciones de nitrógeno en cultivares invernales

Zhou et al. (1996) en la Universidad de Hangzhou, China, realizando ensayos en contenedores de hormigón utilizando el cultivar 601, obtuvieron valores para el estadio de elongación de tallo en porcentaje de materia seca de 3,88 % en hoja y 2,08 % en tallo; al expresarlo como N por planta (mg/planta) los valores son de 535,5 y 208 respectivamente. Para el estadio de floración, el contenido de nitrógeno es de 4,21% en hoja, en tallo 1,05% y en flores y silicuas, 3,96% de N. Expresado como mg/planta, en hoja es de 395,7, tallo 198,1 y flores y vainas es de 268,1 mg/planta.

Velicka et al. (2005) realizando experimentos a campo en la estación experimental de la Universidad de Agricultura de Lituania en 1999-2000, y en la estación experimental del Instituto de Agricultura de Lituania, entre los años 2000 y 2002, con el cultivar Kasimir, encontraron valores de N en estadio de yema terminal de 24,82 g/kg.

2.3.1.3 Concentraciones de nitrógeno en cultivares primaverales

En un ensayo en Australia, Hocking, citado por Martino y Ponce de León (1999) estableció concentraciones de 1,72 mg/g en estadio de roseta, y 0,53 mg/g en prefloración, por debajo de las cuales se evidencian mermas de rendimiento.

En Argentina se establecieron niveles de 1,62 mg/g en estado de roseta con 4-5 hojas, y de 0,14mg/g a comienzo de floración (Sarandón et al., citados por Martino y Ponce de León, 1999). Estos resultados son experimentales, ya que dependen de cultivar, localidad y condiciones hídricas (Martino y Ponce de León, 1999).

Tamagno et al. (1999), realizando ensayos en La Plata, Argentina, utilizando cultivares Isiola 41 y Global, con una densidad de 200 pl.m², describen valores de N en planta para los estadios: C2, F1y G5 de 5, 4 y 1,65 % respectivamente.

Rollier, citado por Planchón y Figares (2004) establece contenidos de nitrógeno en planta (como porcentaje de materia seca), de 5 a 6 % en el estado de roseta. Luego en el estadio de elongación los valores son de 2,8 a 4,7 %, los cuales caen en floración a valores entre 1,5 y 2,5%, para culminar en la etapa de formación de silicuas con valores entre 1,0 y 2,3%.

2.3.1.4 Síntomas de deficiencia

Plantas con adecuado suministro de nitrógeno, manifiestan un color verde oscuro, y al ser móvil dentro de la planta, son las hojas y tallos más viejos los que manifiestan la deficiencia de este elemento, con coloraciones amarillas y en algunos casos púrpuras, las que evolucionan a necróticas al persistir la deficiencia (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999). El crecimiento de las plantas es menor, siendo los tallos principales más cortos, con menor número de ramas y cuya canopía es delgada y abierta la cual senesce de forma precoz (Almond, citado por Planchón y Figares, 2004).

Ante una deficiencia en este nutriente, el período de floración se acorta, disminuyendo el número de silicuas por unidad de superficie (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999). Como consecuencia de lo anterior, el rendimiento disminuye.

2.3.2 Azufre

Este nutriente es constituyente y estabilizador de proteínas, por lo cual tiene funciones estructurales. También interviene en el metabolismo formando parte de aminoácidos, co-enzimas, hormonas, o constituyentes de compuestos antioxidantes que le brindan a la planta la posibilidad de recuperarse de estreses bióticos y abióticos (García y Quincke, 2011).

El azufre ocupa el cuarto lugar en importancia después de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y se le considera vital para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas (Syers, citado por Anjum et al., 2008).

La planta absorbe la mayor parte del azufre en forma de sulfato (SO_4^{-2}) el cual llega a las raíces por flujo masal y/o difusión. Su disponibilidad está sujeta a procesos de mineralización e inmovilización y no sólo a la materia orgánica. El sulfato es reducido en las hojas, sintetizándose cisteína y metionina (García y Quincke, 2011), aminoácidos necesarios para síntesis de proteínas y clorofila (Gambaudo, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

Para lograr una producción sostenible se requiere un eficiente suministro de este nutriente, lo que está relacionado no sólo con la dosis de fertilizante aplicado, sino con el momento en que está disponible para el cultivo. Los momentos de mayor demanda de éste nutriente es en etapa de primordio y floración, momentos donde se evidencian claramente la deficiencia (Sarandón et al., 1993).

Al ser un nutriente poco móvil en la planta, son las hojas más jóvenes quienes manifiestan los síntomas de deficiencia (Thomas, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

Los efectos de este nutriente sobre los componentes numéricos del rendimiento han sido menos estudiados en comparación con los efectos del nitrógeno (Asare y Scarisbrick, citados por Agosti, 2011). El efecto del azufre se centra principalmente en el número de granos por silicua, lo que indica que la deficiencia de este nutriente, o bien aumenta la mortalidad de las flores o atrasa el inicio de la floración. Otros componentes de rendimiento tales como el número de silicuas y peso del grano se ven menos afectados por la disponibilidad de azufre (Archer, Islam et al., Ahmad et al., citados por Anjum, 2008). Otros autores, Asare y Scarisbrick, citados por Agosti (2011), observaron efectos no significativos sobre el peso y número de granos.

2.3.2.1 Azufre en planta

En suelos con contenidos medios a altos de materia orgánica, la absorción de azufre por la planta no siempre esta correlacionada con el sulfato extraído por CaCl_2 , varios factores hacen que sea difícil llevar a cabo un análisis de suelo que permita cuantificar el azufre disponible en el suelo (Maynard y Grant, citados por Planchón y Figares, 2004). Por lo anterior, es el análisis de planta el que brinda un resultado más preciso, en comparación al de suelo (Maynard, citado por Planchón y Figares, 2004).

Según Pinkerton (1995) el período crítico para este nutriente es entorno a las 5-6 hojas hasta el comienzo de elongación del tallo para asegurar el máximo rendimiento en semilla; en inicio de floración hasta el final de la misma y a principios de la etapa de llenado de grano para producir mayor concentración de aceite.

Del total de azufre absorbido por el cultivo, el 50% se acumula en la semilla, estando el restante localizado en tallos, hojas y silicuas (Pinilla, 2008).

2.3.2.2 Concentraciones de azufre en cultivares invernales

La concentración de este nutriente en planta es un indicador de suficiencia o deficiencia en ésta. En Francia, Pouzet (1995) encontró que niveles por debajo de 0,6% del total de materia seca en estado de elongación limitan el rendimiento. Otros autores, quienes realizaron experimentos en EEUU, han reportado concentraciones por debajo de 0,2% como indicador de deficiencia, entre 0,2 y 0,25 deficiencia marginal y mayor a 1 excesiva en estado de floración (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

Velicka et al. (2005) quienes realizaron experimentos a campo en la estación experimental de la Universidad de Agricultura de Lituania en 1999-2000, y en la estación experimental de Instituto de Agricultura de Lituania, entre los años 2000 y 2002, con el cultivar Kasimir, encontraron valores de S en estadio de roseta de 1,71 g/kg.

2.3.2.3 Concentraciones de azufre en cultivares primaverales

El rendimiento se reduce como consecuencia de la deficiencia de este nutriente, cuando la concentración de azufre total en las hojas es de 3,8 mg/g a principios de floración (McGrath y Zhao, citados por Blake-Kalffl et al., 2000).

Investigaciones realizadas por Schnug, citado por Zhao et al. (1992) indican síntomas de deficiencia graves cuando el contenido de S en la hoja más joven en el momento de elongación del vástago era inferior a 3,5 mg/g planta. Haneklaus y Schnug, citados por Zhao et al. (1992) indican que el valor crítico para este nutriente en planta se ubica en 6,5 mg/g. Las grandes fluctuaciones en el contenido de S en hoja y planta sugieren que este método debe tener en cuenta la fase precisa del desarrollo del cultivo al momento de muestreo (Zhao et al., 1992).

2.3.2.4 Síntoma de deficiencia

En caso de deficiencias de azufre, las plantas manifiestan amarillamiento en las hojas jóvenes, este síntoma puede progresar a las hojas inferiores, y si la deficiencia es importante, las hojas jóvenes tienen un menor tamaño y coloración púrpura. Esto es debido a la característica del nutriente de ser poco móvil en la planta (Thomas, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

En general, no aparecen síntomas en estadios tempranos del cultivo, si en estado de elongación (Canola Council, 2002). Según Hocking et al. (1999) esto se debería a que la disponibilidad de azufre en el suelo al inicio del cultivo cubre los requerimientos, y en etapa de elongación, al ser la mineralización del azufre baja no cubre los requerimientos del cultivo.

La ausencia de azufre, provoca una floración más retrasada, y la mayoría de las flores no forman silicuas. La madurez es más tardía y las silicuas son pequeñas y con menor número de granos (Grant, Hocking, Canola Council, citados por Planchón y Figares, 2004).

2.4 INTERACCIÓN ENTRE NITRÓGENO Y AZUFRE

Tanto azufre como nitrógeno, son constituyentes de las proteínas e intervienen en la síntesis de clorofila. Además estos nutrientes se relacionan por el hecho de que el azufre es importante para la activación de la enzima nitrato reductasa, la cual interviene en la conversión de nitrato a aminoácidos en la planta. La acumulación de altos contenidos de nitrato en la planta, en situaciones donde exista deficiencia de azufre, afecta la producción de semilla en cultivos sensibles como lo es la canola (Agropecstar, citado por Planchón y Figares, 2004).

Según el programa OKANOLA de la Universidad de Oklahoma, citado por Aguirre y Uriarte (2010) el azufre permitiría un uso más eficiente del nitrógeno. González, citado por Burzaco et al. (2009) afirma que el azufre es un factor limitante, por lo cual, en ausencia del mismo, el incremento del nitrógeno disponible mediante fertilización nitrogenada, afecta negativamente el rendimiento del cultivo. Resultados similares han sido expresados por Nuttall, citado por Martino y Ponce de León (1999) quien sostiene que el azufre interfiere en la respuesta al nitrógeno, pudiendo provocar la falta de respuesta por este o que la misma sea negativa.

Por otra parte, cuando se fertiliza colza con altas dosis de N, es necesario incrementar adecuadamente los niveles de S para un óptimo rendimiento de granos, haciendo un suministro constante de S fácilmente disponible desde la emergencia hasta la elongación de la vara floral (Malhi, 1999).

Se han detectado niveles mayores de nitrato en planta en situaciones de deficiencia de azufre, lo que pone en evidencia que niveles bajos de éste nutriente en el suelo no afecta la absorción de nitrógeno por parte de la planta, sino que, interfiere en el metabolismo de la misma (Martino y Ponce de León, 1999).

Jansen, citado por Planchón y Figares (2004) encontró que la baja relación nitrógeno y azufre (N:S) en silicuas, tallos, y hojas en aquellos tratamientos con bajo nivel de nitrógeno y alto de azufre, indicaría que la mayor parte del azufre se encontraría bajo formas no proteicas. Sucede lo mismo para el caso donde se ha encontrado alta relación N:S en hojas y tallos en tratamientos donde el nivel de nitrógeno es alto y el azufre bajo, lo que indica niveles altos de nitrógeno no proteico. Esto es debido a un aumento en la cantidad de aminoácidos libres y reducciones en los niveles de proteína (Grant y Bailey, 1993). Continuando con lo expresado por Jansen, citado por Planchón y Figares (2004) el nitrógeno y el azufre son utilizados en una relación

constante en las semillas, y la parte vegetativa sirve como fosa para el exceso de los nutrientes absorbidos.

Según Iriarte (2002b) debe existir una adecuada relación entre nitrógeno y azufre, recomendándose que esta sea de 5:1. Jones, citado por Blake-Kalffl et al. (2000) determina una relación N:S de 9:1 como promedio crítico. Grant, citado por Planchón y Figares (2004) sugieren que esta relación no debería ser mayor a 7:1, debido a que el rendimiento puede disminuir.

2.5 FRACCIONAMIENTO

Según Newbould, citado por Tamagno et al. (1999) la práctica más utilizada para la aplicación de N es mediante la fertilización en la siembra. Sin embargo, debido a las pérdidas de $N-NO_3$ - por lixiviación, es posible que las dosis aplicadas no sean totalmente aprovechadas por el cultivo en los estados de mayor requerimiento de este nutriente. Esto resulta de importancia considerando además el impacto ambiental de la lixiviación de nitrógeno ya que constituye un serio problema en algunos países industrializados, por lo que deben buscarse formas más eficientes de aplicación de fertilizante.

Otros investigadores afirman que la etapa crítica en la determinación del rendimiento, comienza entre dos y tres semanas antes de la floración, entre los estados de fin de roseta e inicios de floración (Tayo y Morgan, 1975). Por lo tanto la aplicación fraccionada de la dosis de fertilizante nitrogenado, parte en la siembra y parte en el primero o en ambos estados mencionados, podría ser una alternativa para mejorar el rendimiento y la eficiencia de uso del nitrógeno del cultivo de colza (Tamagno et al., 1999).

La aplicación de fertilizante en dosis fraccionadas, garantiza la disponibilidad del nutriente en etapas del cultivo importantes para la determinación del rendimiento, debido a su efecto sobre el número de silicuas.m² y semillas.m². Esta práctica permite aumentar la eficiencia agronómica del nitrógeno para la producción de semilla, lo que resulta de importancia para la sustentabilidad de los sistemas de producción (Tamagno et al., 1999).

2.6 MOMENTO DE APLICACIÓN

Al evaluar diferentes momentos de aplicación de nitrógeno hasta el estado de elongación, diversos autores han coincidido en que hay respuesta, pero no son grandes las diferencias debido a la elasticidad del cultivo, dado su carácter de crecimiento indeterminado, lo cual le permite a la planta compensar con los distintos componentes del rendimiento, dada que posee una demanda de nitrógeno uniforme y constante durante su ciclo. Por lo cual no existe en este cultivo, un período crítico definido, si bien luego de elongación, existen altos requerimientos, en nuestras condiciones coincide con aumentos en la tasa de mineralización de nitrógeno provocado por el aumento de temperatura en la primavera (Martino y Ponce de León, 1999).

Valenzuela y Gallardo (1995) en ensayos de diferentes momentos de fertilización, (siembra, estado de roseta y floración), encontraron que la aplicación en estado de roseta fue la que permitió obtener los mayores rendimientos. La fertilización a floración en cambio, debió su falta de eficiencia a que en este momento los componentes del rendimiento están en su mayoría definidos.

Un momento inadecuado de la aplicación de nitrógeno, así como una excesiva dosis, podrían aumentar el contenido de N en las semillas, disminuir el contenido de aceite y su valor comercial (Chamorro, citado por Özden, 2003).

2.7 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO

La colza posee una alta demanda de nitrógeno. El máximo requerimiento de este elemento se ubica cuando el cultivo alcanza el 50 % de floración (Iriarte, 2002b). Este autor recomienda realizar la aplicación en estados vegetativos tempranos, en roseta (4–6 hojas) para que esté disponible en el momento de mayor requerimiento.

En comparación con los cereales, las semillas de colza de invierno requiere una mayor cantidad de nutrientes, y N disponible. Hocking et al. (1997) sostiene que colza requiere alrededor de un 25% más de N que el trigo. En relación a esto, Agosti (2011) establece que el cultivo de canola requiere un 50 % más de nitrógeno en comparación a trigo, y 35 % más que girasol.

Para producir una tonelada de grano por hectárea el cultivo necesita absorber 60 kg de nitrógeno, 15 kg de fósforo, 65 kg de potasio, y 12 kg de azufre por hectárea (IPNI, 2009).

Estimaciones realizadas en Canadá, indican que un cultivo de canola de 2000 Kg.ha^{-1} , extrajo 120 kg de nitrógeno del suelo, mientras que un trigo de 2700 kg.ha^{-1} extrajo 95 kg de nitrógeno (Thomas, citado por Martino y Ponce de León, 1999). Esto demuestra que los niveles críticos para el manejo de nitrógeno en canola serían mayores que los utilizados en trigo (Martino y Ponce de León, 1999).

En investigaciones realizadas en el INTA (2002) para obtener un rendimiento de 3000 kg.ha^{-1} es necesario 210 kg de nitrógeno, 33 kg de fósforo, 250 kg de potasio y 30 kg de azufre, prácticamente el 50 % de estas cantidades es restituidas al suelo a través de los rastrojos.

Considerando los resultados reportados por los anteriores autores, el cultivo necesita entre 60 y 70 kg de nitrógeno por hectárea, 11 y 15 kg por hectárea de fósforo, entre 60 y 80 kg de potasio, y entre 10 a 12 kg de azufre para obtener un rendimiento 1000 kg por hectárea. Considerando las diferencias en las condiciones experimentales donde se han llevado a cabo estos trabajos, las necesidades del cultivo son similares.

Zamora y Maccigoge (2009) en ensayos en chacras comerciales de Argentina, utilizando variedades primaverales e invernales para tres zafras consecutivas, concluyen que al fertilizar sólo con nitrógeno la respuesta en rendimiento es positiva hasta alcanzar un nivel de 150 kg de N.ha^{-1} (entre lo aportado por suelo al momento de la siembra y el agregado por el fertilizante). Cuando el nitrógeno es combinado con azufre, la respuesta en rendimiento es lineal y positiva hasta niveles de 200 kg de N.ha^{-1} .

Según Grant, citado por Martino y Ponce de León (1999) el cultivo de colza necesita acumular entre 200 y 250 kg N ha para producir 2500 kg de semilla ha.

Grant, citado por Martino y Ponce de León (1999) en Canadá encontraron una eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (EAUN) de $1,28$ y $4,75 \text{ kg.ha}^{-1}$ de grano, por cada kg de nitrógeno aplicado en condiciones de secano y riego respectivamente.

Melchori et al. (2010) realizando experimentos en la zona de Entre Ríos, Argentina, obtuvieron EAUN de 5 , 10 y 13 kg grano/ kg N aplicado para las dosis de 0 , 15 y 30 kg de S.ha^{-1} respectivamente.

Otros autores, Gambaudo y Fontanetto, citados por Agosti (2011) quienes realizaron ensayos a campo en Argentina, determinaron EAUN de $5,4 \text{ kg.ha}^{-1}$ de grano, por cada kg de nitrógeno aplicado, mientras que Agosti (2011)

realizando ensayos en masetas reporta una EAUN de $8,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grano, por cada kg de nitrógeno aplicado.

En cuanto a los requerimientos de azufre, en el cultivo de canola es mayor que en las leguminosas y estas mayor que las gramíneas (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999). La causa se debe al mayor contenido de proteína en la semilla y a la producción de cisteína y metionina. Un cultivo cuyo rendimiento sea de $2000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, tendrá $12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de azufre en la semilla y 12 kg en el rastrojo (Thomas, citado por Martino y Ponce de León, 1999). Canola requiere entre tres a diez veces más azufre para igual rendimiento comparado con cebada (Grant, citado por Martino y Ponce de León, 1999). Por esto, canola muestra respuesta al agregado de azufre en chacras donde cebada no muestra respuesta (Thomas, citado por Martino y Ponce de León, 1999). En concordancia con lo anterior, Schnug y Haneklaus, citados por Scheiner et al. (1999) indican que suele existir respuesta al agregado de azufre en el cultivo de colza, en zonas donde no aparecen respuestas al agregado de este nutriente en cereales.

Según Iriarte (2002a) en suelos con bajos contenidos de materia orgánica, bajo contenido de azufre, con textura arenosa, en sistemas de agricultura continua, es posible encontrar respuesta a la fertilización con azufre.

En comparación con la mayoría de los cultivos que se realizan en Argentina, Agosti (2011) menciona que el cultivo de canola requiere entre un 50 y 60 % más de azufre. Esto es en concordancia con lo expresado por Pedersen, citado por Scheiner et al. (1999) el cual menciona que los requerimientos de azufre para el cultivo de colza es de aproximadamente el doble que para trigo.

Ciampitti y García (2009) al analizar variada bibliografía, observaron que los requerimientos de absorción total de nutrientes durante todo el ciclo del cultivo, así como su extracción a órganos cosechables; es el cultivo de canola el que presenta el mayor nivel de extracción de fósforo y azufre a nivel de kg por tonelada producida, siendo 11 y 7 kg respectivamente, en comparación con cultivos oleaginosos y cereales. Estos mismos autores expresan que un cultivo de canola de $2000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, extrae aproximadamente 13 kg de azufre por hectárea, cantidades algo superiores a la de un cultivo de trigo de $4500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el cual la extracción es de unos $7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de azufre.

Mazzilli y Hoffman (2006) encontraron cuatro veces mayor rendimiento al agregar $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de azufre a la siembra en chacras de canola, con una historia agrícola-ganadera de 30 años. Cuando evaluaron la acumulación de biomasa a inicio de elongación, esta fue de 56 % más en el tratamiento fertilizado con azufre a la siembra en relación al sin aplicar.

2.8 RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN

En colzas de tipo invernal, los cultivares híbridos poseen ventajas frente a las variedades, al ser más rápidos, rústicos y de mayor vigor. Completan más rápidamente su área foliar y raíces, y sobreviven mejor ante las bajas temperaturas. En cambio, en las de tipo primaveral, las diferencias entre el uso de cultivares híbridos frente a variedades no es tan marcada (Albero, 2008).

Según Agosti y Miralles (2007) hay diferentes respuestas de los materiales frente a incrementos en las dosis de nitrógeno agregadas, siendo los híbridos los que muestran una mayor respuesta a la fertilización, mejorando su rendimiento en grano, aceite y otros aspectos de calidad.

2.8.1 Respuesta a la fertilización en cultivares invernales

Özden (2003) en Turquía, realizando ensayos de fertilización con la variedad "Honk", evaluando diferentes fuentes de nitrógeno, con dosis de 0 a 200 Kg.ha⁻¹ con una densidad de 50 plantas por metro cuadrado, aplicando la mitad a la siembra y lo restante en estado de yemas unidas (D), observaron aumentos significativos de rendimiento hasta 150 kg nitrógeno, siendo el mismo de 3200 kg.ha⁻¹, un 48 % superior al testigo, reduciéndose en un 22 % al pasar de 150 a 200 Kg de N.ha⁻¹.

Aumentos en las tasas de N, aumentan generalmente el número de ramas por plantas, estos es debido a que el nitrógeno promueve el crecimiento vegetativo y la ramificación de la inflorescencia. Estos resultados concuerdan con lo argumentados por Uddin, citado por Özden (2003) los que afirman que el número de ramas por planta aumentó con la dosis de N 0 a 150 Kg.ha⁻¹. Özden (2003) encontró aumentos del número de vainas por planta con aumentos de las tasas de N hasta 150 kg.ha⁻¹. Para el caso del número de granos por vaina, este autor encontró aumentos hasta dosis de 50 kg.ha⁻¹, disminuyendo por encima de éste. En cuanto al peso de 1000 semillas, encontró aumentos hasta dosis de 150 kg.ha⁻¹ de N, siendo de 4,3 gramos frente a 3,7 en el tratamiento testigo. Además, en este trabajo el contenido de aceite en grano varió de 39% en el tratamiento N 0, a 46% en el tratamiento N 100, disminuyendo por encima de este.

Zamora y Maccigoge (2009) realizaron ensayos en chacras de productores en el centro sur Bonaerense para las campañas agrícolas 2006-2007, y 2007-2008, aplicaron cuatro niveles de nitrógeno para la primer campaña (0, 30, 60 y 90 kg N.ha⁻¹), y para la última campaña evaluada utilizaron dosis de 0, 40, 80 y 120 kg de N.ha⁻¹. A cada dosis de nitrógeno se le combinó con tres dosis de S (0,15 y 30 kg.ha⁻¹). El cultivar utilizado fue Teddy

para la zafra 06-07, Gospel y Barrel para la zafra 07-08, en siembras de mayo para ambas campañas. La respuesta de rendimiento para la primera zafra fue para el tratamiento testigo de 700 a 1200 kg.ha⁻¹, entre 900 a 2400 kg.ha⁻¹ para la dosis de 30 kg de N, 1200 a 2700 para la dosis de 60, y para la dosis de 90, los rendimientos fueron de 1300 a 3100 kg.ha⁻¹. Para la zafra 2007-08, los rendimientos para el tratamiento sin agregado de nitrógeno fueron de 1300 y 1700 kg.ha⁻¹ para Barrel y Gospel respectivamente. Para la dosis de 40 kg de N, los rendimientos fueron de 1800 y 2300; 1800 y 2700 para la dosis de 80 kg.ha⁻¹, y para la última dosis los rendimientos fueron 2200 y 3100 kg.ha⁻¹ para las variedades Barrel y Gospel respectivamente. En cuanto al azufre, estos autores no encontraron respuesta en rendimiento, aunque observaron tendencias positivas, no comprobadas estadísticamente.

2.8.2 Respuesta a la fertilización en cultivares primaverales

Tamagno et al. (1999) en ensayos a campo en La Plata durante los años 1994-95, sembrando dos cultivares (Iciola 41 y Global) con una densidad aproximada de 200 pl.m², utilizando cuatro tratamientos, N0 (testigo sin fertilizar), N1 (90 UN a siembra), N2 (90 UN en partes iguales en dos momentos, siembra y fin roseta), y N3 (90 UN en tres momentos en partes iguales, siembra, fin roseta e inicio de floración), obtuvieron rendimientos en el año 1994 de 940 kg.ha⁻¹ para el testigo, 1500; 1900; 2200 kg.ha⁻¹ para N1, N2 y N3 respectivamente. Para el año 1995, los rendimientos fueron 2500; 2700; 2400; 2800 kg.ha⁻¹ para los tratamientos N0, N1, N2 y N3 respectivamente. Estos autores atribuyen el aumento del rendimiento para el año 1994 al incremento en el número de silicuas y de granos por metro cuadrado. El peso de mil semillas no se modificó con la fertilización, lo cual evidencia el fuerte efecto genético sobre éste factor.

Scheiner et al. (1999) realizaron ensayos en Santa Fe, Argentina, aplicando fertilizantes a la siembra y al momento de elongación de tallos, observaron una diferencia de 117% al fertilizar a la siembra con 12 kg de P, 23 kg de N, 29 kg de S; y con 52 kg de N en elongación de tallo, con respecto al testigo sin fertilizar. El rendimiento obtenido fue de 2765 kg.ha⁻¹ en relación al testigo de 1270 kg.ha⁻¹. Estos autores atribuyen el incremento de rendimiento principalmente a un aumento del número de ramificaciones fértiles por metro cuadrado.

Zamora y Maccigoge (2009) en ensayos en Argentina en chacras de productores, durante la campaña 2005-2006, utilizando la variedad Eclipse, con dosis de 0, 30, 60 y 90 kg de N.ha⁻¹ en combinación con azufre, obtuvo rendimientos de 1000-1900; 1300-2200; 1400-2400 y 1600-2500 kg.ha⁻¹ para las dosis mencionadas anteriormente.

En el Centro de la provincia de Santa Fé, Fontaneto et al. (2011) durante la campaña 2009-2010, llevaron a cabo ensayos para evaluar la respuesta del cultivo de colza al agregado de diferente dosis de nitrógeno y azufre con la variedad Legacy sembrada a mediados de mayo, con una densidad de siembra de 7 kg.ha^{-1} . La aplicación de los fertilizantes fue en el estado de emergencia, realizando 7 tratamientos (diferentes combinaciones de N y S). Los rendimientos obtenidos por estos autores fueron de 2300 Kg.ha^{-1} para el tratamiento testigo, 2800 para la dosis de N 60; 3300 para la dosis de N60 y S10; 3600 para N60 y S20; 3200 para N120; 3600 para N120 y S10; y 4100 kg.ha^{-1} para N120 y S20. Los autores concluyen que hay una respuesta significativa a la fertilización, con incrementos de rendimiento de 530 a 1800 kg.ha^{-1} en relación al testigo, lo que representa un 23 y 79% respectivamente.

En Argentina, Agosti (2011) realizó ensayos durante tres años en contenedores cilíndricos de 200 litros de capacidad, utilizando genotipos primaverales. El primer año, utilizó una población de 200 plantas por metro cuadrado, mientras que el segundo y tercer año utilizó 100 pl.m^2 . Manejando cuatro tratamientos de fertilización, siendo las dosis crecientes entre años. Para el primer año la dosis mínima fue de $47 \text{ kg de N.ha}^{-1}$, y de $9 \text{ Kg de S.ha}^{-1}$, y la máxima de 150 kg.ha^{-1} y 60 de kg.ha^{-1} de N y S respectivamente. Para el tercer año del ensayo se utilizaron 67 kg y 15 kg , 280 kg y 62 kg , para las dosis mínimas y máximas de nitrógeno y azufre respectivamente. Las aplicaciones se realizaron en soluciones nutritivas cada tres días junto al agua de riego desde siembra a inicio de elongación, posteriormente cada dos días hasta la madurez. Para todos los años evaluados, la biomasa aérea total aumento ante mayores disponibilidades de nitrógeno, sin efecto del agregado de azufre en forma aislada ni al combinarlo con nitrógeno. Estos aumentos se relacionaron con incrementos lineales en el rendimiento, sin hallarse un límite de respuesta al agregado de nitrógeno. El aumento del rendimiento es explicado a través de cambios en los componentes numéricos del mismo, siendo el número de granos quien explicó en un 98% el aumento del rendimiento, el cual se debe a un incremento en el numero de silicuas por unidad de superficie, ya que el número de granos por silicua no varió frente a los aumentos de la fertilización, así como tampoco el peso de grano.

El aumento en la fertilización nitrogenada provocó un incremento del índice de área foliar y de la tasa de crecimiento del cultivo, lo que explica la mayor disponibilidad de asimilados para fijar un mayor número de estructuras reproductivas (Allen y Morgan, citados por Agosti, 2011).

2.9 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Para identificar el impacto de la fertilización y las distintas dosis sobre el rendimiento final, este se divide en sus componentes. Si bien durante todo el desarrollo del cultivo se van generando los componentes numéricos y fisiológicos del rendimiento, es posible identificar un período crítico (dos semanas posteriores al inicio de floración hasta la maduración de granos), para la generación del rendimiento, en donde limitantes en recursos como radiación, agua y nutrientes, o algún otro tipo de estrés, afectará en forma negativa el rendimiento final del cultivo (Mingeau, citado por Agosti, 2011). Este período coincide con un reemplazo del área foliar por el área de silicuas, evidenciando un cambio de estructuras fotosintetizantes (Diepenbrok, Tayo y Morgan, citados por Agosti, 2011).

El rendimiento es el producto de la biomasa total producida por el cultivo y el índice de cosecha (IC), siendo este último el factor que más limita el rendimiento en el cultivo de colza (Diepenbrok, citado por Agosti, 2011).

Habekotté, citado por Agosti (2011) expresa que para colzas invernales el IC oscila entre 25 a 30 %, los cuales son bajos en relación al de los cereales. Si se tiene en cuenta que los granos de canola poseen una mayor concentración energética, debido a que el aceite de éstos contiene 2,5 veces más energía que los carbohidratos, el IC se torna similar al de los cereales (Walton, citado por Aguirre y Uriarte, 2010).

Según Diepenbrok y Grosse, citados por Agosti (2011) la generación del rendimiento se puede analizar a través de los componentes numéricos del mismo, desglosándolo en: número de plantas.m², silicuas por planta, granos por silicua y peso de grano. Los tres primeros componentes, en su conjunto determinan el número de granos.m².

2.10 POTENCIAL DE RENDIMIENTO EN CULTIVARES INVERNALES

Siembras de mayo en Argentina lograron el mejor promedio general e individual y con la mayor partición (IC). Los cultivares invernales obtuvieron siempre los rendimientos mayores, y a medida que se retrasaba la fecha de siembra, los ciclos primaverales alcanzaron el 66%, 78% y 95% del rendimiento promedio para ciclos cortos, medios y largos respectivamente frente a los ciclos invernales (Ross, 2007).

Fechas de siembra de mediados de mayo, en la EEA INTA Balcarce, el híbrido invernal Pulsar obtuvo un rendimiento corregido por humedad (8,5%) de 4630 kg.ha⁻¹ (Ross, 2007).

En Argentina, para el año 2007, los rendimientos obtenidos fueron de $1298^{+/-}202 \text{ kg.ha}^{-1}$, en tanto que para el 2008 fueron de $2425^{+/-}141 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Agosti, 2011). Este autor, argumenta que en los genotipos invernales, el llenado de grano tuvo menor duración en días, siendo el rendimiento más bajo con respecto a los primaverales, a pesar de tener una mayor duración del ciclo total.

En Uruguay, para el conjunto de dos años, 2009 y 2010, cultivares de colza sembrados a inicio de mayo, obtuvieron rendimientos entorno a los 2900 kg.ha^{-1} (INIA, 2010).

2.11 POTENCIAL DE RENDIMIENTO EN CULTIVARES PRIMAVERALES

Para fechas de siembra a inicio de junio en INIA “La Estanzuela”, en los nueve cultivares evaluados, los rendimientos en grano para dos años, 2009 y 2010, fueron de $3000\text{-}3500 \text{ kg.ha}^{-1}$ (INIA, 2010).

Trabajos realizados por Agosti (2011) en Argentina, obtuvo rendimientos para cultivares primaverales cortos de $2017^{+/-}171 \text{ kg.ha}^{-1}$ para el año 2007. Los primaverales medios rindieron $1655^{+/-}107 \text{ kg.ha}^{-1}$. En cambio para la zafra 2008, estas variedades rindieron $2976^{+/-}245$ y $3437^{+/-}158 \text{ kg.ha}^{-1}$ cortos y medios respectivamente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la zafra de invierno 2011, y consistió en dos experimentos instalados en una chacra comercial perteneciente a la firma “El Tejar”, establecimiento “Villa Maruca”, ubicado a 15 km al norte de la ciudad de Dolores, departamento de Soriano.

3.1 MANEJO DEL CULTIVO

La siembra fue realizada el 23 de abril de 2011, con el híbrido invernal “Pulsar” a 24 cm entre hileras en siembra directa sobre rastrojo de trigo.

Previo a la siembra, el contenido de nitratos fue de 12 ppm, 11 ppm de fósforo y 0,59 meq. de potasio por cada 100 gramos de suelo. Toda el área fue fertilizada con 70 kg de 7-40 por hectárea. El mismo día se controlaron las malezas aplicando glifosato (1,5 l/ha). Se realizó sobre un suelo franco arcilloso (ver descripción anexo 1).

Para generar variaciones en la concentración de N en planta al estadio C1 y estudiar la respuesta a la fertilización nitrogenada en este estadio, el 8 de junio, se instalaron dos experimentos, ubicados en dos zonas topográficas (alto y bajo), en los que se evaluaron dosis de nitrógeno aplicadas en distintos estadios fenológicos (Cuadros 1 y 2).

Para la zona baja, se realizaron 9 tratamientos, con dos y tres repeticiones por tratamiento, totalizando 24 parcelas (ver croquis en anexo 2). Los momentos donde se realizaron aplicaciones de nitrógeno y azufre fueron en B 5, B 9 y C1 (ver escala fenológica en anexo 3). Como entre los estadios de fin de roseta e inicio de elongación, la empresa realizó una aplicación de 100 litros de SolMIX en la chacra no respetando los experimentos, las dosis reales recibidas por el cultivo deben incrementarse en $37 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de S.

Cuadro No. 1 Dosis de N y estadio del cultivo al momento de la aplicación en la zona baja

N B 5 (kg/ha)	SolMix B 9 (kg N/ha)	Dosis total roseta (kg/ha)	N C1 (kg/ha)
0	37	37	0
0	37	37	120
30	37	67	90
30	37	67	30
60	37	97	30
60	37	97	90
60	37	97	60
60	37	97	120
15 US	7 US		30 US
0	37	37	60 (sin S)

US: unidades de azufre

Para las fertilizaciones nitrogenadas realizadas en B5, B9 y C1, se le aplicó 15, 7 y 30 unidades de azufre respectivamente, salvo en uno de los tratamientos evaluados, que no recibió azufre en ninguno de los estadios.

Para el ensayo "alto", se realizaron 11 tratamientos, totalizando 26 parcelas donde se fertilizó manualmente en los estadios B3, B7 y C1 aplicando nitrógeno y azufre (ver croquis en anexo 4). En todos los momentos se aplicaron 15 US/ha, a excepción del estadio B 9 donde se aplicó 7 US.

Cuadro No. 2 Dosis de N y estadio del cultivo al momento de la aplicación en la zona alta

N B3 (Kg/ha)	N B7 (kg/ha)	SolMix B9 (kg N/ha)	Dosis total roseta	N C1 (kg/ha)
0	0	37	37	0
0	30	37	67	0
0	60	37	97	0
0	30	37	67	90
30	0	37	67	90
30	0	37	67	30
60	0	37	97	60
60	0	37	97	30
60	0	37	97	90
60	30	37	127	90
60	60	37	157	60

En ambos ensayos la dosis total de S aplicada por hectárea es de 52 kg.ha⁻¹ incluido los 7 kg/ha correspondiente al SolMIX.

Como los tratamientos se realizaron a fecha fija, se registró el estadio fenológico del cultivo, observándose diferencias entre las zonas topográficas. Como se puede observar en el cuadro 3, el 8 de junio en el alto el cultivo se encontraba en el estadio B3, mientras que en el bajo en B5. Al avanzar el ciclo tales diferencias desaparecieron.

En ambos ensayos, el tamaño de las parcelas es de cinco metros de largo por dos de ancho. La aplicación de los fertilizantes se realizó en forma manual, el nitrógeno fue aplicado bajo la forma de urea, y el azufre como sulfato de calcio. Además en este momento, se realizó aplicación de herbicida Verdict (600 cc/ha) y fungicida Opera (450 cc/ha).

Para ambos ensayo se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado.

En el Cuadro siguiente se presentan las actividades realizadas una vez instalados los ensayos.

Cuadro No.3 Manejo del cultivo en los ensayos

Fecha	Ensayo	Estadio	Actividad
8/6/2011	Alto y Bajo	B3-5	Determinación de la disponibilidad de materia seca, fertilización, aplicación herbicida.
22/7/2011	Alto	B7	Determinación de la disponibilidad de materia seca y nutrientes en planta y suelo, fertilización.
23/8/2011	Alto y Bajo	C1	Determinación de la disponibilidad de materia seca, nitrógeno y azufre y fertilización.
23/11/2011	Alto y Bajo	G5	Cosecha y muestro suelo.

3.2 DETERMINACIONES

3.2.1 Trabajo de campo

3.2.1.1 Datos climáticos

Los datos de precipitaciones y temperatura media para los meses donde se ubicó el ciclo del cultivo (abril a noviembre), se obtuvieron de la estación meteorológica más cercana al ensayo, ubicada en la ciudad de Dolores, mientras que los datos de la serie histórica (1961-1990) se obtuvieron de la estación meteorológica de la ciudad de Mercedes ambas correspondientes a la Dirección Nacional de Meteorología.

3.2.1.2 Muestreo suelo

Para el ensayo “alto”, se realizó dos tomas por parcela con calador de suelo de 1,8 cm de diámetro con una profundidad de 20 cm, para determinar la disponibilidad de nitratos.

A la cosecha, se realizó muestreo para caracterizar el suelo y determinar diferencias en profundidad, siendo 14 y 5 muestras para zona alto y bajo respectivamente, utilizándose calador y taladro holandés en todo el perfil.

3.2.1.3 Disponibilidad de materia seca

Para determinar materia seca a la instalación de los ensayos, se realizó corte de 20 plantas en cada ensayo.

En el estadio B7 para el “alto”, se realizó corte de un metro lineal por parcela para determinar materia seca, porcentaje de nitrógeno y azufre en planta.

En ambos ensayos, en el estadio de C1, se realizaron cortes de un metro lineal por parcela, para posteriormente determinar materia seca y contenido de nitrógeno y azufre.

Finalizando las tareas de campo, en el estadio G5 se cortaron 2 metros lineales por parcela, contándose el número de plantas, registrándose las muestras, embolsándose en bolsa de arpillera y almacenándose en galpón de cosecha hasta su procesamiento.

3.2.1.4 Población

Se realizó al momento de instalar los ensayos el conteo de plantas. El procedimiento constó de tres repeticiones por ensayo, cada una de cinco metros lineales en dos surcos.

Para el estadio B7, en “alto” y C1 en ambos ensayos, se contaron en cada parcela un metro lineal de plantas.

3.2.2 Trabajo de laboratorio

3.2.2.1 Biomasa aérea

Para la determinación de la materia seca, las muestras se pesaron frescas e ingresaron a estufa de 60 °C durante tres días, pesándose posteriormente, determinando el porcentaje y peso de materia seca por hectárea.

En la cosecha, se pesó cada fardo para determinar el peso fresco, se tomaron 10 muestras de rastrojo por ensayo, pesándose y secándose en estufa de 60°C durante tres días, para obtener el porcentaje de materia seca del mismo. También, se procedió a medir humedad de grano, para calcular junto a lo anterior la materia seca a cosecha.

3.2.2.2 Nitratos en suelo

Las muestras de suelo se secaron en estufa de 60°C durante tres días, moliéndose en molino de suelo eléctrico, enviándose a laboratorio de Facultad de Agronomía (EEMAC, Paysandú), donde con la técnica de electrodo de nitratos, con un equipo Orion, modelo 93-07 y con CaSO_4 como floculante se determinaron los contenidos de N- NO_3 en ppm.

3.2.2.3 Textura

Las muestras de suelo fueron tamizadas y posterior limpieza de carbonatos y raicillas para enviarlas al laboratorio de suelo de Facultad de Agronomía, donde mediante el método de Bouyucous (1936) se determinó el porcentaje de cada fracción.

3.2.2.4 Nutrientes en planta

Una vez retiradas las muestras de plantas de la estufa de 60 grados, se procedió a molerlas en molino eléctrico, enviándose a laboratorio de Facultad de Agronomía (EEMAC, Paysandú) para la determinación de porcentaje de nitrógeno total, en tanto que para la determinación de contenido de azufre total en planta se enviaron las muestras a laboratorio de INIA “La Estanzuela”.

3.2.2.5 Componentes del rendimiento

Para determinar los diferentes componentes del rendimiento del cultivo, se procedió al corte manual con tijera, contabilizándose y registrándose el número de silicuas por planta.

De cada parcela, se tomó una muestra de cien silicuas al azar, contabilizándose el número de granos de cada una, y pesándose la muestra para obtener peso de mil granos.

3.2.2.6 Cosecha

Para obtener el rendimiento de cada parcela, se realizó cosecha manual, donde cada muestra se colocó en un recipiente de plástico, en el cual se procedió al pisado para su desgrane, luego se tamizó y mediante maquina de viento se eliminaron las impurezas de cada muestra, pesándose luego para calcular el rendimiento por unidad de superficie para cada parcela.

Al haberse cosechado a mano los ensayos y no registrarse ninguna pérdida de rendimiento, es probable que exista una sobre-estimación en los

cálculos si lo comparamos con ensayos cosechados mecánicamente y más aún, con los obtenidos en situaciones comerciales de producción.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En primer lugar, debido a la heterogeneidad de la profundidad del suelo hallado en ambos ensayos, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para todas las variables de interés utilizando a la profundidad total como covariable. Para aquellas variables en que existió efecto significativo de la co-variable, se trabajó con los valores corregidos (ver Cuadro No. 5).

Para cada experimento se calculó el rendimiento relativo (RR) dividiendo el rendimiento observado de cada parcela por el rendimiento máximo.

Se realizaron descripciones estadísticas (Media, Máximo, Mínimo, Coeficiente de variación) de las variables de respuesta cuantificadas. Para el rendimiento en grano y sus componentes se realizó un árbol de clasificación y regresión para los resultados obtenidos en ambos experimentos de manera conjunta y separado por ubicación (alto y bajo).

Utilizando un análisis de regresión lineal para estudiar la relación entre el RR y el %NC1, estableciéndose grupos de respuesta a la fertilización nitrogenada en C1 en base al valor crítico establecido por el árbol de clasificación y regresión. Se realizaron un análisis de varianza para RR, %NC1 y contenido de azufre en C1 tomado estos grupos como variables de clasificación. Del mismo modo, se realizó un ANAVA para componentes del rendimiento. Mediante el análisis de cajas box-plot, se gráfico el rendimiento relativo en función de las dosis de nitrógeno agregadas al estadio C1 teniendo en cuenta el grupo de respuesta, grupos de respuesta y fertilización a C1 para: silicuas.m², granos.m² y PMG.

Mediante el programa SAS, se gráfico el rendimiento relativo en función de la dosis a C1 particionado por el %N en C1. Posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal para peso de mil granos y silicuas por superficie en función del contenido de nitrógeno en C1.

Mediante análisis de varianza se estudió el efecto de la fertilización en estadios en torno a roseta sobre el %N en C1 y rendimiento relativo en función de la dosis a roseta y elongación.

Los datos fueron analizados con el software estadístico Infostat 2008 (Di Rienzo et al., 2008) y The SAS System Inc.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

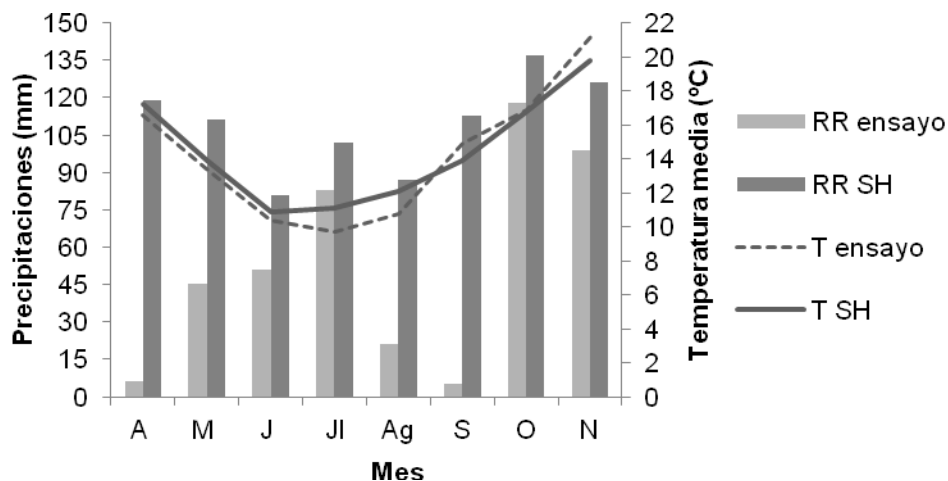


Figura No.1 Comparaciones de precipitaciones y temperaturas registradas en el año 2011 en el ensayo con serie histórica 1961-1990
SH: serie histórica; RR: precipitación

Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo sumaron 430 mm, un 51 % por debajo de la serie histórica (1961-1990). Picca et al., citados por Aguirre y Uriarte (2010) sostienen que el cultivo puede consumir entre 400 y 500 mm en situaciones hídricas favorables, por lo que el total de lluvias podría calificarse como aceptable. El problema es que fueron variables en cantidad y frecuencia durante el ciclo del cultivo, existiendo períodos en los que fueron escasas (fin de roseta, inicio de elongación e inicio de floración) y otros donde las lluvias ocurridas no serían limitantes (llenado granos).

Cuadro No. 4 Eventos fisiológicos y fecha medida de ocurrencia para ambos ensayos

Meses	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.
Estadio	Siembra			B7	C1	F2	G5	
Fecha	23			22	23	23	23	
DPS	0			88	120	151	212	

DPS: días post siembra

Almond et al. (1986) aseguran que las condiciones de estrés hídrico son más limitantes durante la floración y llenado de grano. En cuanto a la temperatura media registrada, no presentó grandes variaciones en comparación

con la serie histórica (1961-1990), aunque los meses de julio y agosto promediaron un 11 % por debajo.

La temperatura media y las precipitaciones en post-floración serían los factores ambientales con mayor influencia sobre el rendimiento y la calidad del grano. Cuando el llenado de los granos ocurre a bajas temperaturas medias (en el rango de 12 a 18 °C), se obtiene un mayor rendimiento (Si y Walton, citados por Agosti, 2011).

4.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Debido a la heterogeneidad encontrada en la profundidad del suelo de las parcelas de ambos ensayos, se realizaron análisis de varianza para todas las variables determinadas utilizando la profundidad de los horizontes A+B y profundidad total como covariable. En el siguiente cuadro se presentan aquellas variables de respuesta para las cuales la profundidad total del suelo actuó como covariable significativa.

Cuadro No.5 Análisis de varianza con profundidad de suelo como covariable

Variable	n	p-valor		
		Tratamiento	Covariable	TratxProf.
MS C1(kg/ha)	49	0,62	0,0054**	0,096
MS B7(kg/ha)	22	0,31	0,47	0,38
Granos/m ²	50	0,06	0,036*	0,26
Rto.9%(kg/ha)	50	0,017	0,20	0,94
IC	50	0,038	0,31	0,70
Silicuas/m ²	50	0,035	0,039*	0,45
N C1 (%)	50	0,0015	0,65	0,37
N B7 (%)	22	0,20	0,04*	0,34
MS cosecha (kg/ha)	50	0,032	0,28	0,75

*significancia al 5%

**significancia al 1 %

Las variables MS C1, Granos.m², Silicuas.m² y N B7, fueron afectadas por la profundidad total del suelo, debido a esto, al momento de realizar los análisis, estas variables fueron corregidas por la covariable.

En los siguientes cuadros se presenta la descripción estadística de las variables de respuesta cuantificadas en el cultivo.

Cuadro No. 6 Valores medios y variabilidad del estado nutricional del cultivo, la producción de biomasa y el rendimiento en grano obtenidos a partir de los dos experimentos

Variable	Prom.	Máx.	Min.	DE	CV (%)
N C1 (%)	2,8	4,0	2,0	0,42	15
S C1(mg/g)	4,5	7,4	3,3	0,77	17
Ms C1 (Kg/ha)	4.825	6.597	3.356	635,3	13
Ms cosecha (Kg/ha)	13.488	19.029	6.368	3.052,6	23
Rto. (Kg/ha)	3.972	6.728	952	1.448	36

ns= no significativo

*** Significancia al 0,1%

NC1: Nitrógeno en C1, SC1: Azufre en C1, MS C1: materia seca, MS cosecha: materia seca a cosecha, Rto: rendimiento, Prom: promedio, Máx: máximo, Min: mínimo, DE: desvío estándar, CV: coeficiente de variación

Todas las variables analizadas mostraron variabilidad, reflejado en un coeficiente de variación medio a alto. El contenido promedio de N al estadio C1 fue de 2,8 %, logrado con 4800 kg.ha⁻¹, lo que se ubica dentro del rango reportado por Zhou et al. (1996) quien cita valores de 2,98% de N en elongación de tallo como valor crítico, no citando valores de biomasa. Tomando como referencia este valor (2,98%), el contenido de nitrógeno en planta al momento de elongación obtenido en este trabajo varió en torno al valor crítico, por lo que es de esperar que se encuentre asociación entre el manejo evaluado y el nivel nutricional de las plantas.

Pouzet (1995) encontró que niveles por debajo de 6 mg/g de S en C1 limita el rendimiento. Si se toma como referencia este valor, el rendimiento estaría limitado, ya que el valor promedio obtenido para ambos ensayos se ubicó un 25% por debajo de lo citado por este autor, no siendo así los valores máximos, ya que se encontraron un 23% por encima.

En cuanto a la relación nitrógeno/azufre, el promedio de ambos ensayos (alto y bajo) es de 6,2, valor que está dentro del rango citado en la bibliografía, no encontrándose efecto sobre el rendimiento.

Cuadro No. 7 Descripción estadística de los componentes del rendimiento

Variable	Promedio	Max	Min	Desvío estándar	CV (%)
Silicua. m²	8091	10270	6189	948	12
Granos.m²	177385	219213	134931	19424	11
Granos. silicua	22	24	18	1,15	5
PMG	3,2	3,7	2,5	0,33	10
IC	0,27	0,35	0,18	0,061	22

PMG: peso de mil granos, IC: índice de cosecha

Se lograron aproximadamente 8100 silicuas.m², un 14 % por encima a lo encontrado por Agosti (2011) en Argentina utilizando cultivares primaverales medios. En relación al número de granos, dicho autor encontró en promedio 124.000 granos.m², siendo un 30% inferior a lo obtenido en este trabajo.

Los granos por silicuas oscilaron entre 18 y 24, siendo el promedio de 22 granos.silicuas, estos valores se encuentran entorno a lo encontrado por Agosti (2011) quién obtuvo valores entorno a los 19 granos por silicua para cultivares primaverales y Özden (2003) obtuvo un máximo de 29 granos por silicua utilizando el cultivar invernal 601. Estos autores encontraron pesos de mil grano en promedio de 2,77 g. Agosti (2011) y de 3,7 g. Özden (2003), dichos valores se encuentran entorno a lo hallado en este trabajo.

Considerando el índice de cosecha, el cual en promedio fue de 27 %, se encuentra en concordancia con lo reportado por Habekotté, Austin et al., citados por Agosti (2011), los cuales expresan que para colzas invernales el IC oscila entre 25 a 30 %, mientras que Agosti (2011) para colza primaveral obtuvo en promedio un IC de 28%.

4.2.1 Árbol de clasificación y regresión del rendimiento en grano considerando la población de datos obtenida a partir de los dos experimentos juntos

Se analizó la variación del rendimiento en grano en función de Dosis de N en C1, la concentración de N y S en el estadio C1 (% NC1 y mg/g S respectivamente), y la biomasa producida hasta ese estadio (MS C1).

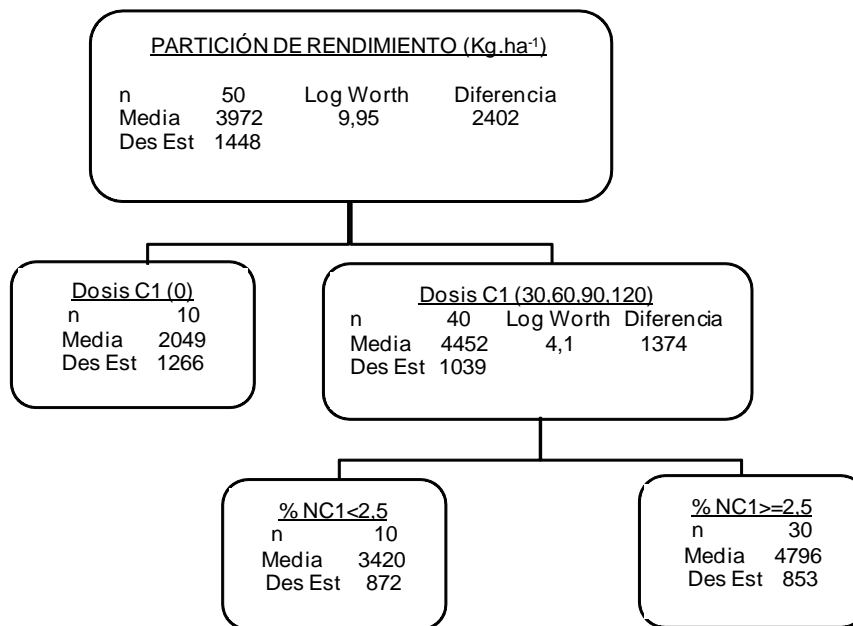


Figura No. 2 Árbol de clasificación y regresión para rendimiento en grano en función de la fertilización nitrogenada, el estado nutricional del cultivo y producción de biomasa al estadio C1

El rendimiento medio fue de 3972 Kg.ha⁻¹, y el 60% de la variación se explicó por la fertilización con N en C1 y el porcentaje de N en planta en el mismo estadio.

Los tratamientos no fertilizados con N en el estadio C1 promediaron un rendimiento de 2050 Kg.ha⁻¹ y los fertilizados (30, 60, 90 o 120 Kg.ha⁻¹ de N), 4450 Kg.ha⁻¹. La rama de los rendimientos mayores se dividió por un valor de nitrógeno en planta al estadio C1 de 2,5%. Por debajo de éste valor, el rendimiento medio fue de 3420 Kg.ha⁻¹. Cuando el nitrógeno en planta superó dicho valor, se promedió un rendimiento de 4800 Kg.ha⁻¹. La concentración de N en C1 establecida como crítica en función de éste análisis (2,5%) se ubica por debajo del establecido por Zhou et al. (1996), en torno al 3 % en estado de elongación de tallo, con rendimientos de 1400 Kg.ha⁻¹ para el cultivar invern

601 pero coincide con Velicka et al. (2005), quienes establecieron valores de 2,5 % de N para un cultivar invernal Kasimir, en estado de yema terminal. Los rendimientos obtenidos en ausencia del agregado de N en C1 igualmente fueron elevados, Planchón y Figares (2004) en Uruguay obtuvieron rendimientos entorno a 1500 Kg.ha⁻¹ cuando no se aplicó fertilizante.

En la siguiente figura se presenta el árbol de clasificación y regresión del rendimiento de cada uno de los ensayos, identificados como ALTO y BAJO debido a su ubicación topográfica en la chacra.

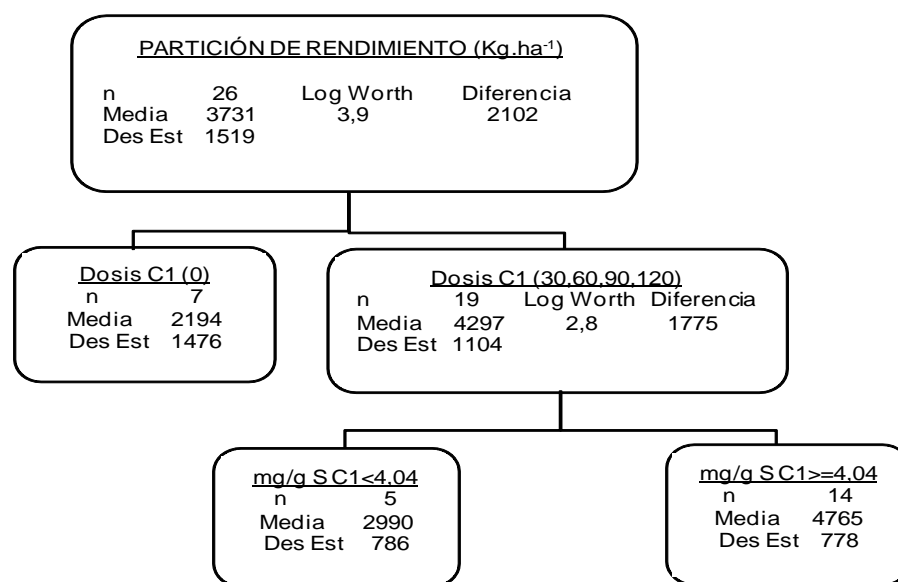


Figura No. 3 Árbol de clasificación y regresión para rendimiento en zona alta
Dosis: Kg N.Ha⁻¹

El rendimiento promedio en ALTO fue de 3731 Kg.ha⁻¹. El 64% de la variación observada se explicó en base a la fertilización o no con N en el estadio C1 y la concentración de S en planta en dicho estadio.

Al igual que lo sucedido con el promedio general, la dosis de nitrógeno en C1 separó grupos. Aquellas parcelas no fertilizadas en C1, lograron una media de rendimiento de 2200 Kg.ha⁻¹, mientras que al fertilizar con dosis iguales o mayores a 30 UN, obtuvieron rendimiento medio de 4300 Kg.ha⁻¹, un 49 % superior a la media de las no fertilizadas.

De las 19 parcelas fertilizadas, el contenido de S en C1 separó dos grupos. Si la concentración de S en planta fue menor a 4 mg.g⁻¹, los rendimientos fueron 30 % inferior a la media de los tratamientos fertilizados con

N en C1, mientras que si fue igual o mayor a 4 mg.g^{-1} , los rendimientos fueron un 10 % superior a dicha media. Pouzet, citado por Martino y Ponce de León (1999) establece niveles de 6 mg/g de S en estado de elongación como nivel crítico. Mientras que trabajos en Estados Unidos reportan concentraciones de 2 mg/g como indicador de deficiencia en estado de floración, para cultivares invernales (Grant et al., citados por Martino y Ponce de León, 1999). Velicka et al. (2005) en estado de roseta, encontró valores de $1,71 \text{ mg/g}$ de S. Considerando lo anterior, los niveles se encuentran entorno a lo mencionado por dichos autores.

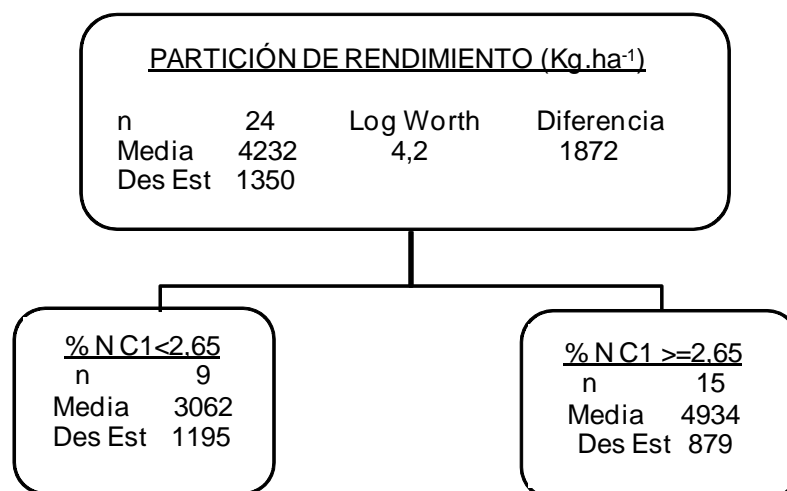


Figura No. 4 Árbol de clasificación y regresión para rendimiento zona baja

Para el experimento ubicado en esta zona topográfica “baja”, se obtuvo un rendimiento promedio de 4232 Kg.ha^{-1} , siendo un 12 % superior a la media del ensayo ubicado en la zona alta.

A diferencia de lo ocurrido en la zona “ALTO”, la única variable asociada al rendimiento y que explicó el 47% de la variabilidad fue el porcentaje de N en planta en el estadio C1. De 24 parcelas, 15 tuvieron un porcentaje de N en C1 mayor a 2,65 %, logrando un rendimiento medio de 4900 Kg.ha^{-1} , mientras que el rendimiento fue un 38 % inferior cuando el contenido de N en planta fue menor a 2,65 % en estadio de elongación. En esta zona, el contenido de azufre se encontró en un 79% del total de las parcelas por encima del valor 4 mg/g , establecido con el árbol de clasificación y regresión para la zona “ALTO”.

4.2.2 Componentes del rendimiento

En la siguiente figura se presentan los componentes que se asociaron a las variaciones de rendimiento para ambos ensayos.

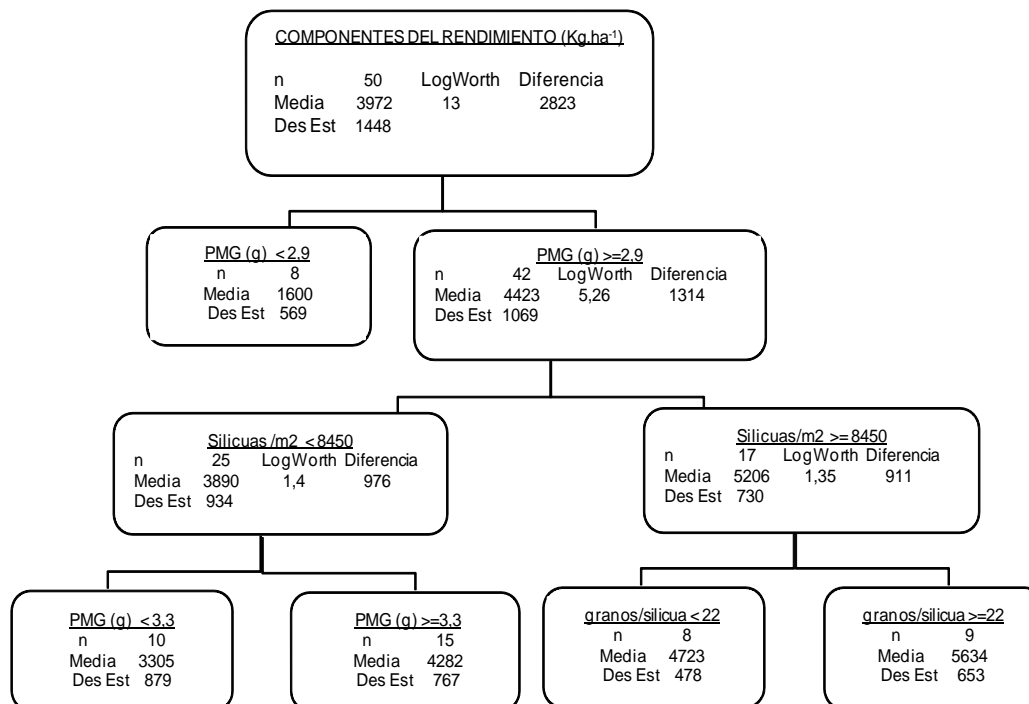


Figura No. 5 Árbol de clasificación y regresión para rendimiento en grano y sus componentes
PMG: peso de mil granos

Con un R^2 de 0,78 y n de 50, el PMG fue el componente que determinó variaciones del rendimiento.

De las 50 parcelas, 8 tuvieron un PMG menor a 2,9 g obteniendo un rendimiento medio de 1600 Kg.ha⁻¹, y las restantes parcelas al superar dicho valor, el rendimiento medio obtenido es de 4400 Kg.ha⁻¹.

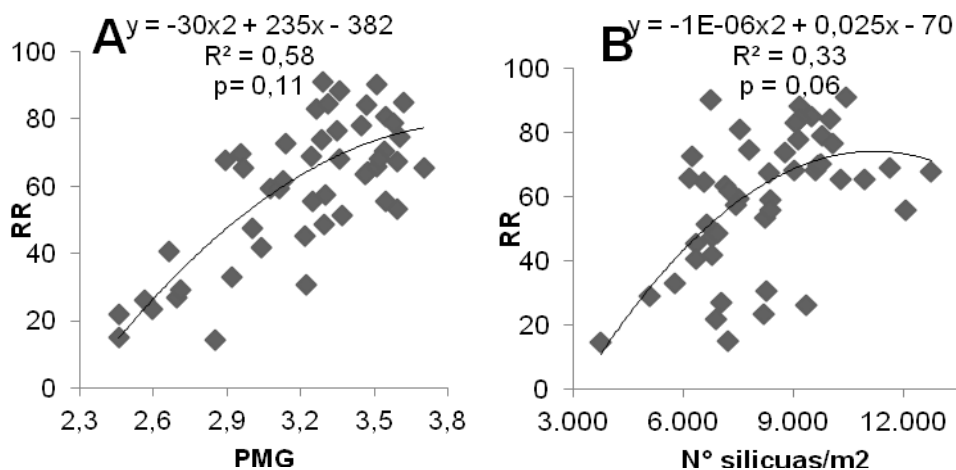
Dentro del grupo con un PMG mayor a 2,9 g, el número de silicuas por superficie estableció diferencias, ya que si éste es superior a 8450 silicuas.m² se obtuvieron rendimientos promedios de 5200 Kg.ha⁻¹, en caso contrario, los rendimientos fueron un 25% inferior. Agosti (2011) en Argentina, logró rendimientos entorno a los 4000 Kg.ha⁻¹ con 7000 silicuas por metro cuadrado, utilizando cultivares primaverales medios.

Dentro del grupo que presentó un número de silicuas por superficie mayor a 8450, los granos por silicua fueron quienes separaron grupos, 8 parcelas tuvieron menos de 22 granos.silicua con un rendimiento medio de 4700 Kg.ha⁻¹, y al superar dicho valor el rendimiento se incrementó un 16 % en 9 parcelas. Este efecto ha sido mencionado en diversos trabajos en los cuales muestran incrementos en el número de granos por silicuas en respuesta al agregado de N (Cheema et al., Scott et al., Allen y Morgan, citados por Agosti, 2011). Sin embargo Hocking et al., Asare y Scarisbrick, citados por Agosti (2011), encontraron estabilidad en dicho parámetro. Agosti (2011) encontró valores entorno a los 19 granos por silicua para cultivares primaverales. Özden (2003) obtuvo un máximo de 29 granos por silicua utilizando el cultivar invernal 601.

De las 25 parcelas con número de silicuas por superficie menor a 8450, el PMG es nuevamente quien separó grupos, con rendimiento medio de 3300 Kg.ha⁻¹ al ser menor a 3,3 g, y en caso contrario 15 parcelas tiene un rendimiento medio de 4300 Kg.ha⁻¹.

A continuación, se presenta la relación entre el rendimiento y sus componentes.

Dentro de los componentes del rendimiento, el PMG es quien más lo afectó (Figura No. 6 A). Luego es el número de silicuas por metro cuadrado quien explica el 33 % del rendimiento (Figura No. 6 B), determinando el número de granos.m² quien explico el 32 % del rendimiento (Figura No. 6 C). Por otra parte el número de granos por silicua no afectó significativamente la variable de respuesta (Figura No. 6 D). En el caso de silicuas por planta no se encontró relación con el rendimiento relativo (Figura No. 6 F).



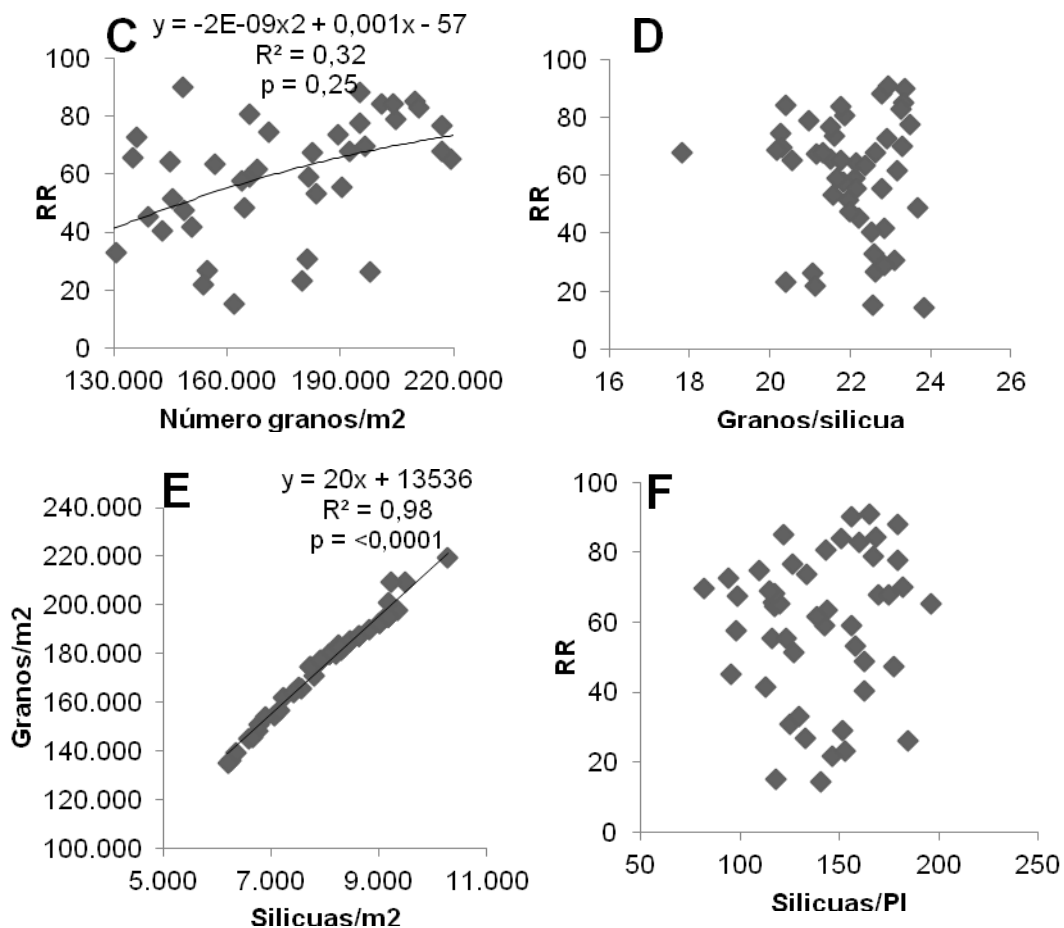


Figura No. 6 Relación entre rendimiento relativo y sus componentes

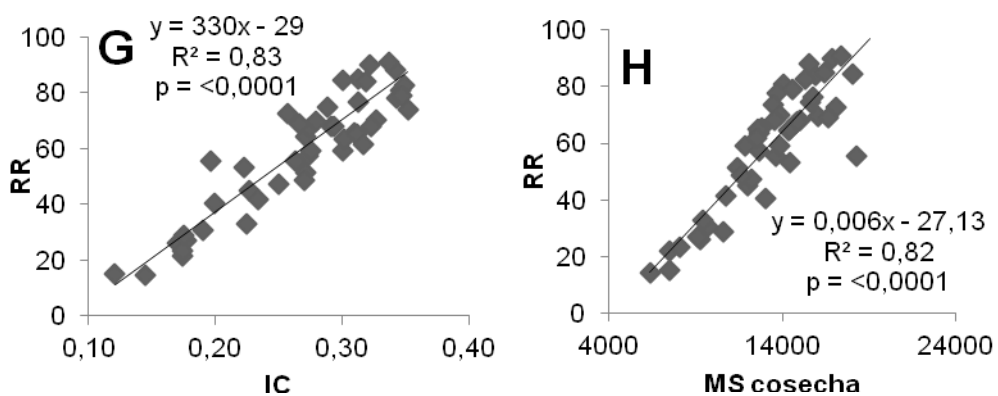


Figura No. 7 Relación entre rendimiento relativo e índice de cosecha (G) y materia seca a cosecha (H)

Aguirre y Uriarte (2010) obtuvieron una relación de 92% entre número de granos y rendimiento, muy superior a lo obtenido en este trabajo. Cheem et al., citados por Agosti (2011) afirman que el componente que mejor explica las diferencias en rendimiento es el número de granos por unidad de superficie, explicado por aumentos en el número de silicuas por superficie.

En comparación a lo referido por este autor, el PMG fue el componente que mejor explicó diferencias en rendimiento, seguido por las silicuas.m². Contrariamente a lo citado en la mayoría de la bibliografía, el PMG tuvo una incidencia media-alta sobre el rendimiento (Figura No. 6 A) y esto le quita grado de asociación a los otros componentes, por compensar la falta de granos.m² con más peso en grano. El PMG fue el componente del rendimiento que en este trabajo discriminó mejor grupos de respuesta en el árbol de clasificación y regresión, lo cual no significa que sea el principal componente del rendimiento.

El número de granos/silicua no afectó significativamente el rendimiento (Figura No. 6 D). Esto es coincidente con lo reportado por Agosti (2011) quien no encontró aumentos en esta variable. El número de granos se relacionó de forma positiva con el número de silicuas por superficie (Figura No. 6 E). De esta manera, al aumentar dicha variable determina incrementos en el número de granos.m² y por lo tanto aumentos en el rendimiento.

En la Figura No. 6 G se observa la relación positiva entre el IC y el rendimiento. Para la obtención de rendimientos cercanos al potencial, es necesario que el IC sea superior a 0,25. Según Diepenbrok, citado por Agosti (2011) sostiene que esta variable es el factor que más limita el rendimiento del cultivo. En relación a esto, Aguirre y Uriarte (2010) obtuvieron una fuerte asociación entre el IC y el rendimiento con un R² de 0,72. De igual forma, hay una relación positiva entre la MS a cosecha y el RR siendo de 82% (Figura No. 6 H).

Teniendo en cuenta las Figuras No. 6 B y C, se observan seis puntos agrupados que se encuentran por debajo de la nube principal de puntos. Al analizarlos, se encontró que los mismos tienen un PMG inferior a 2,9 g. excepto uno el cual su peso es de 3,2 g. Esto se encuentra relacionado con la Figura No. 5, en la cual el PMG es el principal componente que afectó el rendimiento, siendo el peso de 2,9 g quien separó grupos en el árbol de clasificación y regresión para componentes del rendimiento. En la Figura No. 6 A, se puede observar que con un peso inferior a 2,9 g, los rendimientos relativos no superaron el 40%. Esto evidencia la importancia del PMG sobre algunos componentes del rendimiento, como lo son silicuas y granos por superficie.

4.2.2.1 Peso de grano

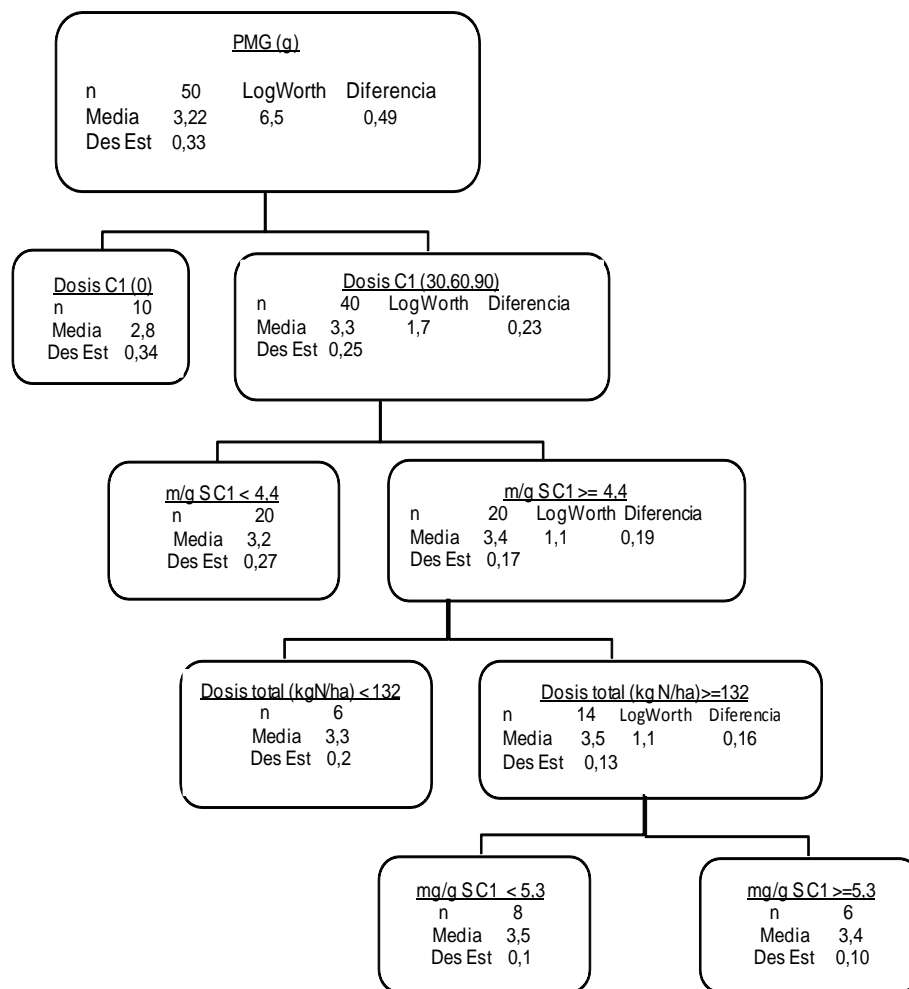


Figura No. 8 Árbol de clasificación y regresión para peso de mil granos (PMG) *S. azufre*, Dosis C1: KgNha⁻¹

La dosis de N en C1 quien determinó diferencias para el componente PMG. De las 50 parcelas, 10 obtienen un PMG de 2,8 al no aplicar N en C1. Con dosis de N aplicadas en C1 mayores o iguales a 30 UN, 40 parcelas obtienen una media de 3,3 g. Al aplicar N a elongación, el contenido de S es quien separó grupos. Si éste es menor a 4,4 mg/g, el PMG medio obtenido fue de 3,2 g, y al ser igual o mayor a dicho valor el peso de grano es de 3,4 g en las restantes 20 parcelas. En éstas, la dosis total de N aplicada al cultivo, establece diferencias, lográndose PMG promedio de 3,5 g al aplicar dosis totales mayores o iguales a 132 kg de N /ha. En caso contrario, 6 parcelas obtuvieron un PMG 6% inferior. Finalmente en las 14 parcelas donde las

aplicaciones de N fueron superiores a 132 Kg.ha^{-1} , es nuevamente el contenido de S en C1 quien determinó diferencias en el PMG, ya que al superar los $5,3 \text{ mg/g}$ de S el PMG se ve afectado negativamente ($3,4 \text{ g}$) lo que da a entender que niveles superiores de azufre al mencionado generan problemas en la concreción del peso de granos.

4.2.2.2 Silicuas por superficie

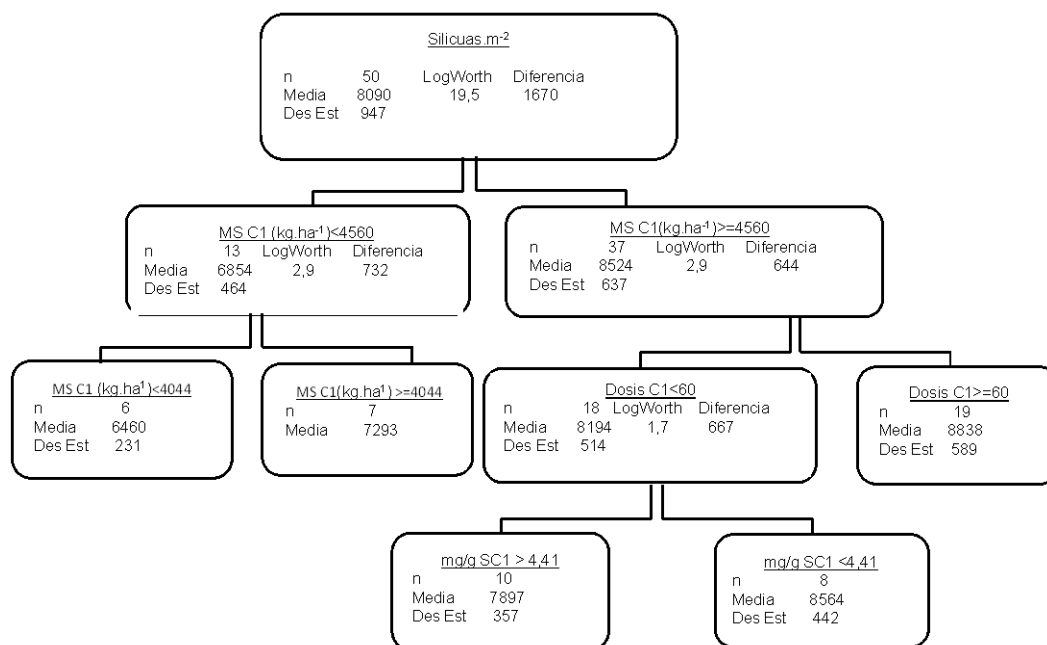


Figura No. 9 Árbol de clasificación y regresión para silicuas por superficie
S: Azufre, Dosis C1: KgN.Ha^{-1} , MS: materia seca

Con un R^2 de 0,78, el promedio de silicuas por superficie de las 50 parcelas es de 8100. La Materia seca en elongación es quien separó en grupos, si ésta es menor a 4560 Kg.ha^{-1} se obtienen en promedio 6800 silicuas. m^2 , y al superar dicho valor de MS, se obtienen 8500 silicuas por superficie. Para las 37 parcelas que obtuvieron este número de silicuas, la dosis en C1 es quien separa grupos. Con dosis menores a 60 UN, se obtuvo 8200 silicuas, en caso contrario, es decir, al aplicar 60 UN o dosis mayores a ésta, se obtuvieron 8800 silicuas. m^2 . Con dosis menores a 60 UN, éste grupo es particionado por el contenido de azufre en C1, 8 parcelas promedian 8600 silicuas cuando el contenido de S es menor a $4,4 \text{ mg/g}$, y al superar dicho valor el número de silicuas cae un 8,2%. Indicando nuevamente que valores elevados de S en planta generan efecto negativo sobre este componente del rendimiento, al igual que en PMG.

En la rama de MS en C1, cuando ésta es menor a 4560 kg.ha^{-1} , es nuevamente la MS en dicho estadio quien estableció diferencias, obteniendo 6500 silicuas por superficie cuando hay menos de 4000 Kg.ha^{-1} de MS, obteniendo en caso contrario, $7300 \text{ silicuas.m}^2$ como media de 7 parcelas.

4.2.2.3 Granos por silicua

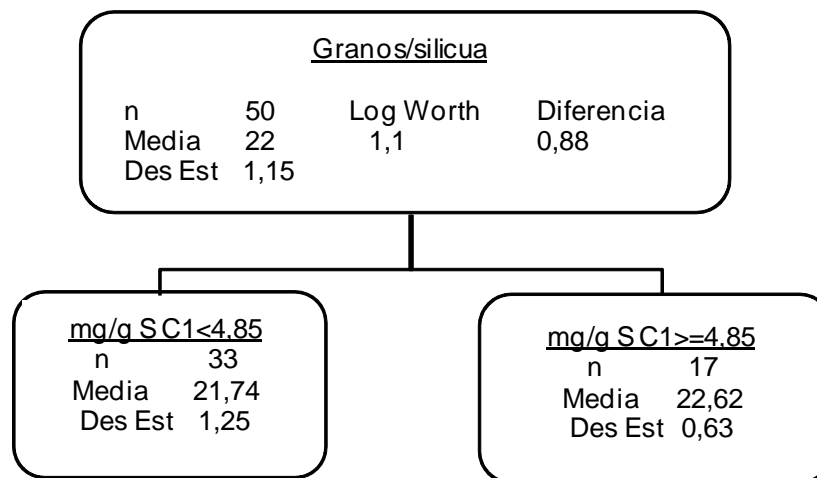


Figura No. 10 Árbol de clasificación y regresión para granos por silicua

El árbol de clasificación y regresión para granos/silicua determinó que el contenido de S en C1 es quien tiende a explicar el 13% de la variación en dicho componente. De las 50 parcelas, 33 se ubican en el grupo con menos de $4,85 \text{ mg/g}$ de S en C1, obteniendo 22 granos/silicua. Las restantes 17 parcelas poseen 23 granos por silicua en promedio al superar los $4,85 \text{ mg/g}$ de S en planta.

Los efectos del S sobre los componentes numéricos del rendimiento han sido menos estudiados en comparación con los efectos del nitrógeno (Asare y Scarisbrick, citados por Agosti, 2011). El S afecta principalmente el número de granos por silicua, estando menos afectados otros componentes como el número de silicuas y peso del grano (Archer 1974, Islam et al. 1999, Ahmad et al. 2005, Anjum 2006). En relación a esto, en la presente tesis, el contenido de azufre en elongación afectó el peso de grano (Figura No.8) así como el número de granos por silicua (Figura No.10).

Cuadro No. 8 Variables que afectan el rendimiento y sus componentes

	Fert. C1	%NC1	%S	MS C1	Dosis total
Rendimiento	*	*	*		
PMG	*		*		*
Silicuas.m2	*		*	*	
Granos.silicuas			*		

Fert C1: fertilización a elongación, %NC1: porcentaje de nitrógeno a C1, %S: porcentaje de azufre a C1; MS C1: materia seca a C1 (Kg.ha^{-1}), Dosis total: expresado como nitrógeno en Kg.ha^{-1}

En el cuadro anterior se resumen aquellas variables que generaron grupos en los arboles de clasificación y regresión para el rendimiento y sus componentes. Como se puede observar, la fertilización a elongación afectó el al rendimiento de grano, PMG y silicuas por superficie, no afectando a los granos por silicuas, mientras que el contenido de azufre a elongación afectó a todas las variables estudiadas. El contenido de N a elongación afectó al rendimiento, la materia seca en C1 tuvo incidencia sobre las silicuas por superficie y la dosis total sobre el peso de grano.

4.3 CONTENIDO DE NITRÓGENO EN ELONGACIÓN COMO INDICADOR DEL ESTADO NUTRICIONAL Y PREDICTOR DE RESPUESTA A NITRÓGENO

En este capítulo se procede a analizar el efecto del estado nutricional del cultivo en C1, como indicador del estado nutricional y su relación con el rendimiento y sus componentes.

El estado nutricional en C1, surge como resultado del manejo de la fertilización nitrogenada previo a dicho estadio fenológico.

4.3.1 Rendimiento relativo en función del contenido de nitrógeno a elongación como diagnóstico de la necesidad de re fertilizar con nitrógeno

En la Figura No. 11 se presenta la relación entre RR y %N en C1 en función de si fueron o no fertilizados con N.

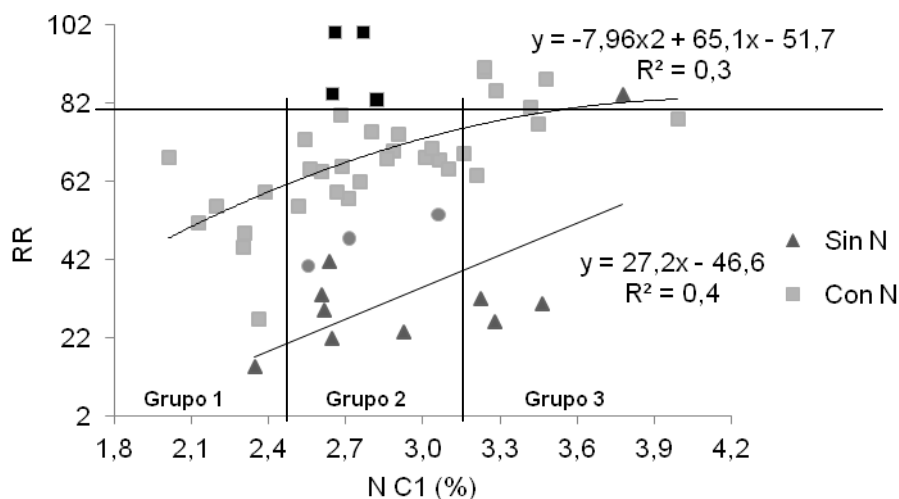


Figura No.11 Rendimiento relativo en función de la concentración de nitrógeno en planta en el estadio C1 para los tratamientos sin fertilización en C1 (Sin N) y con 30, 60, 90 y 120 kg ha⁻¹ de N aplicados en C1 (Con N) distinguiéndose tres grupos

En primer lugar, existió una relación positiva significativa del RR con el %N en planta cuando no se fertilizó en el estadio C1. Esto implica que el estado nutricional del cultivo en C1 se relaciona con el rendimiento final obtenido. Al considerar la fertilización N en C1, y tomando el valor crítico surgido del análisis de clasificación y regresión (2,5% de N en planta) y el valor crítico máximo (3,2%), se pueden observar tres grupos de respuesta. En el primer grupo, con

%N<2,5%, existió respuesta al agregado de N pero el rendimiento alcanzado fue del 51% del máximo; el segundo grupo, en el que la respuesta a la fertilización fue variable, ubicándose en 69% del máximo, pero existiendo situaciones en las que el rendimiento superó el 80% del máximo; un tercer grupo, sin respuesta a la fertilización, con más de 3,2% de N en planta. Esto estaría indicando que el %N en planta en C1, si bien podría ser utilizado para establecer la necesidad o no de refertilizar con N, también estaría indicando niveles de rendimiento máximo alcanzables ya definidos a ese estadio. Con concentraciones menores a 2,5% el máximo alcanzable fue significativamente menor a las situaciones con %N \geq 2,5% (51% contra 69% respectivamente, $p\leq 0,05$). Cuando %N \geq 3,3%, en C1, no se registró respuesta a la fertilización nitrogenada en este estadio, obteniéndose un RR promedio del 80% (Cuadro No. 7).

En el siguiente cuadro se presenta el análisis de varianza para rendimiento relativo, %NC1 y mg/g S tomando a estos grupos como categorías.

Cuadro No. 9 Análisis de varianza para rendimiento relativo, % de nitrógeno y contenido de azufre para las parcelas fertilizadas en estadio de elongación

variable		n	media
RR		40	
Grupo	3	9	80,2 a
	2	24	68,6 a
	1	7	50,6 b
% NC1		40	
Grupo	3	9	3,3 a
	2	24	2,7 b
	1	7	2,2 c
% SC1		40	
grupo	3	9	0,48 a
	2	24	0,45 a
	1	7	0,37 b

Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor < 0,05)

Los resultados permitirían establecer que, si bien existiría respuesta al agregado de N en el estadio C1 cuando el %N<3,3%, para no limitar el rendimiento, el cultivo debe llegar a C1 con un %N \geq 2,5%.

Cuadro No. 10 Análisis de varianza para componentes del rendimiento

variable		n	media
silicuas.m2		40	
	Grupo 3	9	9041 a
	2	24	8835 ab
	1	7	7415 b
granos.m2		40	
	Grupo 3	9	195732 a
	2	24	191678 ab
	1	7	164745 b
PMG		40	
	Grupo 3	9	3,4 a
	2	24	3,3 ab
	1	7	3,2 b

Letras distintas indican diferencias significativas (p-valor < 0,10)

Todos los componentes numéricos del rendimiento en el grupo 1 fueron estadísticamente inferiores al grupo 3. Los grupos 2 y 3 no se diferencian estadísticamente entre ellos para las variables analizadas. El grupo 3 fue superior al grupo 1, presentando mayor número de silicuas por superficie, lo que se traduce en un mayor número de granos.m², y por tanto, de rendimiento. En tanto que los grupos 1 y 2 se diferenciaron significativamente para el rendimiento relativo obtenido, en cambio no se diferenciaron estadísticamente para los componentes del rendimiento individualmente, aunque en todos los casos existió una tendencia a ser mayor en el grupo 2.

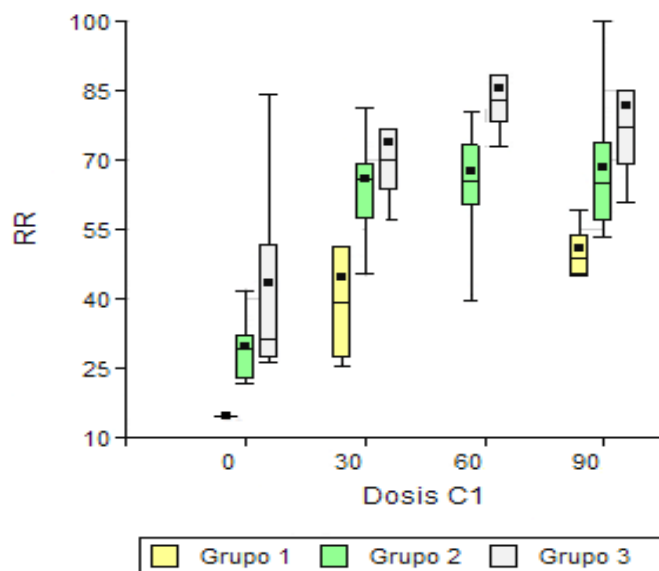


Figura No. 12 Rendimiento relativo en función de las dosis en C1 según grupo de respuesta a la fertilización

Cuadro No. 11 Análisis de varianza con interacción entre grupo de respuesta y dosis a elongación para rendimiento relativo

variable	grupo	Dosis C1			
		0	30	60	90
RR	1	15 d	45 cd		51 bc
	2	30 cd	66 ab	68 a	69 ab
	3	43 cd	74 ab	85 a	82 a

Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor < 0,05)

Como se observa en el cuadro anterior, en el grupo de respuesta 1, la dosis en la cual se obtuvo el mayor rendimiento relativo fue la de 90 UN, la cual alcanzó el 50 %, aunque no se diferenció de la dosis de 30 UN, si habiendo diferencias a favor de la dosis de 90 sobre la no aplicación de fertilizante a elongación. En tanto que para el grupo de respuesta 2, no hubo diferencias significativas entre las dosis aplicadas, aunque estas se diferenciaron de la no aplicación, lo mismo sucede para el grupo 3, en la cual las aplicaciones se diferenciaron estadísticamente sobre la no fertilización.

En la Figura No. 12 se muestra el rendimiento relativo obtenido según las dosis aplicadas en C1 considerando los tres grupos de respuesta a la fertilización en elongación. Cuando no se fertilizó en C1, los mayores rendimientos se logran cuando el cultivo presentó un nivel nutricional superior a 3,3% de N en planta a C1, aunque el rendimiento relativo promedio de éste

grupo fue sólo del 43% y sin diferencias significativas entre los grupos (cuadro No. 11).

Para la aplicación de 30 UN, el grupo de respuesta 3 alcanzó un rendimiento máximo del 80% del RR, mientras que los mínimos rendimientos se logran con el grupo 1 (entre 27 a 56% como rendimientos mínimos y máximos respectivamente), con una media de 45%, un 40 % inferior a la media del grupo 3. Entre estos grupos existió diferencia significativa a favor del grupo de respuesta 3 (cuadro No. 11). El grupo 2, logró rendimientos de 47 y 83% como mínimos y máximos respectivamente, siendo este grupo estadísticamente superior al grupo 1 e igual al grupo 3 (cuadro No. 11).

Para la dosis de 60 UN, el grupo de respuesta 3 logró un RR 20% superior al obtenido en el grupo de respuesta 2, aunque no se diferenciaron estadísticamente. En la dosis de 90 UN, los máximos rendimientos se logran con el grupo de respuesta 2, alcanzando el 100% del RR, en cambio para el grupo 1, se obtiene un rendimiento máximo del 60%, sin diferencias significativas entre estos dos grupos (cuadro No. 11). Comparando los grupos 2 y 3, la media de este último fue un 17% superior a la media del grupo 2, no existiendo diferencias significativas. En cambio, la media del grupo 3 fue un 37% superior a la media del grupo 1 ($p < 0,05$).

Los resultados indican que, cuando el porcentaje de N en C1 es menor a 2,5% y si no se fertiliza con N al estadio C1, los rendimientos relativos promedios no superarían el 45% del rendimiento alcanzable cuando el estado nutricional a C1 es mayor a 3,3% de N en planta (980 contra 2800 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente). Por lo contrario, si se realizan fertilizaciones, los rendimientos dependerán del estado nutricional del cultivo y de la dosis aplicada. Con una concentración de $N \leq 2.5\%$ en planta se necesitarían 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N para obtener un 50 % del rendimiento relativo, no alcanzándose los rendimientos obtenidos por los otros dos grupos. Por tanto, por debajo de ese valor nutricional la fertilización nitrogenada en C1 no lograría levantar una limitante impuesta en estadios anteriores. En cambio, con valores superiores de 2,5% de N en planta y menores a 3,3%, serían necesario 30 UN para alcanzar en promedio rendimientos relativos cercanos al 75%, (4900 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para este trabajo).

En el cuadro siguiente, se presenta el efecto de la fertilización con N en C1 sobre los componentes del rendimiento.

Cuadro No. 12 Análisis de varianza con interacción entre grupo de respuesta y dosis a elongación para silicuas, granos y peso de mil granos

variable	grupo	Dosis C1		
		0	30	90
silicuas.m2	1	3763 e	7351 bcd	6939 cd
	2	6547 de	8814 ab	8583 abc
	3	8505 abc	8255 bcd	10516 a
granos.m2	1	89660 d	163660 bc	156563 bcd
	2	146282 cd	195142 ab	191380 ab
	3	185516 abc	179840 abc	227840 a
PMG	1	2,8 bc	3,1 bc	3,2 ab
	2	2,7 c	3,3 ab	3,5 a
	3	2,9 bc	3,4 ab	3,3 ab

Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor < 0,05)

Cuando no se fertilizó con N a elongación el número de silicuas por superficie aumentó con el estado nutricional del cultivo. Esta diferencia se mantuvo para el número de granos.m², lo cual era de esperarse, ya que al contener mayor número de silicuas por superficie, lo hará también el número de granos.

Con dosis de 30 UN, los grupos no se diferenciaron significativamente entre ellos, pero sí lo hicieron los grupos 1 y 2 en comparación a la no aplicación de N en C1. Del mismo modo respondieron los granos por superficie. Estos resultados no explican totalmente la respuesta en rendimiento discutida, ya que el grupo 2 y 3 se diferenciaron significativamente en rendimiento relativo en comparación al grupo 1.

Para la dosis de 90 UN, el grupo 1 no se diferenció estadísticamente en el número de silicuas por superficie en relación al grupo 2, pero sí lo hizo en comparación al grupo 3, este grupo no se diferenció del grupo 2. De igual forma se comportaron los granos por superficie, por lo que este componente explica las respuestas a N diferencial entre los grupos 1 y 3. Considerando el peso de mil granos, los grupos de respuesta no se diferenciaron estadísticamente entre ellos considerando dentro de cada dosis, pero sí lo hizo el grupo 2 entre dosis, ya que al comparar el peso de grano entre aplicar y no aplicar N, se observó una diferencia significativa a favor de la aplicación de N.

En el grupo 1, las dosis aplicadas (30 y 90 UN), considerando el componente silicuas por superficie no se diferenciaron entre dichas dosis, aunque estas si se diferenciaron de la no aplicación de N en C1. En cambio, el

componente granos.m², la aplicación de 30 UN no se diferenció de la aplicación de 90 UN, pero sí lo hizo a la no aplicación, mientras que esta no se diferenció de la dosis de 90 UN. El grupo 2, las silicuas no se diferenciaron entre las dosis aplicadas, pero sí lo hicieron en comparación a la no aplicación, de igual forma sucedió con los granos por superficie. Para el grupo 3, las silicuas no se diferenciaron entre aplicar o no aplicar N, en cambio la dosis de 90 fue mayor y diferente estadísticamente a la dosis de 30, no diferenciándose de la no aplicación. En cambio, los granos por superficie no se comportaron de igual forma, ya que no hubo diferencias entre las dosis aplicadas y la no aplicación.

Por lo tanto, al no aplicar N al estado de elongación, el número de silicuas y granos por superficie se encuentran en relación con el estado nutricional del cultivo a dicho estadio, pero igualmente, los rendimientos no se diferencian entre los grupos de respuesta. Con dosis de 30 UN, no se pudo explicar el porqué de los resultados, debido a que existió diferencias significativas de los grupo 2 y 3 sobre el grupo 1 en cuanto al rendimiento relativo, pero este comportamiento no fue así para las silicuas y número de granos por superficie en donde no hubo diferencias entre los grupos. En tanto que la dosis de 90 UN, el grupo 3 fue estadísticamente superior al grupo 1 en cuanto al rendimiento relativo, explicado por mayor número de silicuas y granos por superficie a favor del grupo 3 sobre el 1.

En la figura siguiente se presentan los resultados agrupados considerando sólo el rendimiento en grano y el %N en planta en el estadio C1.

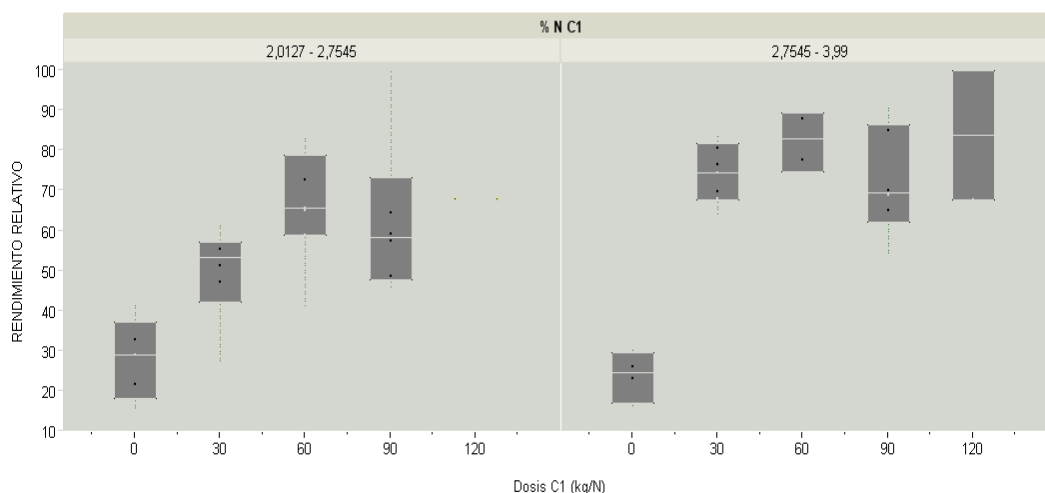


Figura No.13 Rendimiento relativo en función de la dosis de nitrógeno agregada en elongación para rangos de estado nutricional en el mismo momento

El análisis coincide en marcar que al no fertilizar con N en C1, los rendimientos relativos no superarían el 40% del máximo, para ambos rangos nutricionales. Por el contrario, si se fertiliza con N en C1, los rendimientos relativos son mayores para aquellos grupos que superen los 2,7 % de N en planta. Para aquellos grupos que se encuentran con un estado nutricional por debajo de 2,7 %, el rendimiento relativo incrementó hasta la dosis de 60 UN. Fertilizaciones superiores no se justificarían ya que el rendimiento relativo decreció.

Si el cultivo llega a C1 con un estado nutricional superior al 2,7 % de N en planta, agregando 30 UN se logra el máximo del rendimiento relativo del grupo por debajo de los 2,7% y aplicando 120 UN se obtiene un rendimiento de 5.200 Kg.ha⁻¹. Debido a esto, es importante el fraccionamiento del fertilizante en etapas importantes del cultivo, como lo es en la etapa de elongación de tallos.

4.3.2. Efecto sobre los componentes del rendimiento

A partir del árbol de clasificación y regresión para componentes del rendimiento (Figura No. 5), se analizó el efecto del estado nutricional en C1 sobre los componentes PMG y silicuas/m².

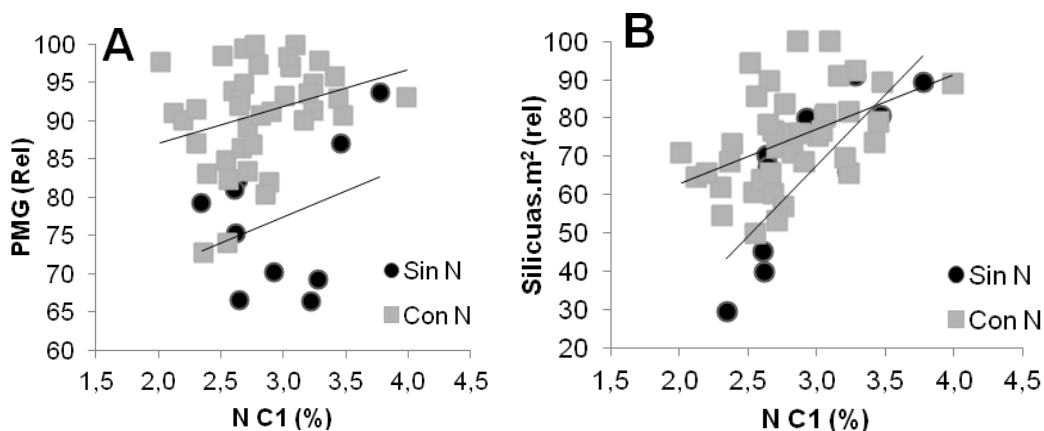


Figura No. 14 Efecto del %N en elongación sobre el PMG (A) y silicuas por superficie (B)
 PMG (Rel): peso mil grano relativo, NC1 (%): nitrógeno C1 en porcentaje

Cuadro No.13 Análisis de regresión lineal para componentes del rendimiento

Gráfico	Variable	Dosis		R ²	Ecuación	Coef.	EE	p-valor
		C1	N					
A	PMG					Const.	19	0,02
		Sin N	10	0,12	Y=6,8x+57	% N C1	6,6	0,33 ns
		Con N	40	0,09	Y=4,8x+77	% N C1	2,5	0,06 ns
B	Silicuas.m ²					Const.	26	0,11
		Sin N	10	0,65	Y=37x-44	% N C1	8,9	0,003**
		Con N	40	0,21	Y=14x+35	% N C1	4,4	0,003**

**Significancia al 1%

ns= no significativo

Las silicuas por metro cuadrado son afectadas por el estado nutricional del cultivo a elongación, independientemente de realizar aplicaciones. En relación a esto, Dawkins, citado por Planchón y Figares (2004) sostiene que el efecto de la fertilización nitrogenada es sobre el número de flores al final de floración, por lo cual al aumentar la disponibilidad de nitrógeno aumenta el número de silicuas a cosecha.

Según Taylor et al., Qayyum et al., citados por Özden (2003) el incremento de N influye en el aumento de algunos parámetros del crecimiento, como el número de ramas y silicuas por planta, semillas por silicua y peso de mil granos. En éste último componente, se encontró una fuerte tendencia de que el estado nutricional del cultivo en C1 tenga efecto en caso de fertilizar con N en dicho estadio.

4.3.3 Efecto de la dosis en roseta sobre el porcentaje de nitrógeno a elongación

Como se discutió anteriormente, se encontró tres grupos de respuesta a la fertilización al estadio de elongación de tallos. Por lo cual, en este capítulo se analizará el efecto que tuvo la fertilización nitrogenada en la etapa de roseta sobre el porcentaje de nitrógeno en planta a C1.

Cuadro No. 14 Análisis de varianza para porcentaje de nitrógeno a elongación en función de las dosis aplicadas a roseta

variable	n	media
%NC1	47	
Dosis roseta	97	21
	67	14
	37	12
		2,9 a
		2,6 b
		2,6 b

Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor $< 0,05$)

El análisis de varianza para %N en C1 en función de las dosis de N agregada en roseta detectó diferencias significativas para la dosis menor agregada con relación a la dosis superior. Esto indicaría que con dosis de 97 UN a roseta, sería suficiente aplicar una dosis mínima a C1 para lograr rendimientos aceptables, ya que al aplicar dicha dosis a roseta (97UN), en promedio se obtuvo 2,9% de N a C1, este valor se ubica entorno del grupo de respuesta dos y tres.

Cabe destacar que no existió dosis cero a roseta debido a que hubo una aplicación en el ensayo por parte de la empresa, por lo cual la dosis 37 UN correspondían a las parcelas no fertilizadas.

En este capítulo se intento analizar el efecto de la dosis a roseta sobre el porcentaje de nitrógeno a C1, con el objetivo de observar la incidencia del agregado de diferentes dosis a roseta sobre el porcentaje de N a elongación. La aplicación imprevista de fertilizante en el ensayo 20 días previos a C1, no permitió realizar en forma correcta la comparación de diferentes dosis, debido a que no se contó con parcelas testigo. De igual modo, se encontró diferencias significativas a favor de la dosis de 97 UN sobre las otras dosis.

A pesar de lo anteriormente citado, la aplicación de fertilizante nitrogenado en estadios tempranos del cultivo permitió lograr un buen estado nutricional en elongación. Sin embargo, debido a los problemas de lixiviación que pueden ocurrir en invierno y al tiempo transcurrido entre los estadios de inicios de roseta y elongación (mayor aún en cultivares invernales frente a primaverales), se hace necesario considerar las aplicaciones en elongación independientemente de haber aplicado en roseta, aún con dosis altas.

4.3.3.1 Efecto de la dosis a roseta y elongación sobre el rendimiento relativo

En este capítulo se discutirá el efecto de las dosis aplicadas a roseta y en el estadio de elongación sobre el rendimiento relativo obtenido.

Cuadro No. 15 Análisis de varianza para rendimiento relativo en función de la dosis a roseta y elongación

variable	dosis roseta	Dosis C1			
		0	30	60	90
RR	37	34 a	64 a	63 a	
	67	27 b	52 ab		69 a
	97	55 a	74 a	72 a	69 a

Letras distintas indican diferencias significativas (p -valor < 0,05)

Como se observa, con una dosis mínima a roseta (37 UN), las dosis aplicadas en C1 fueron superiores a la no aplicación, pero no se diferenciaron significativamente entre ellas, obteniéndose un rendimiento relativo promedio de 40 y 65% como mínimo y máximo respectivamente. Es decir, al aplicar 37 UN a roseta y no aplicar o hacerlo con dosis de 30 UN a elongación es posible obtener rendimientos de 2600 y 4200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para dosis de 0 y 30 UN respectivamente.

Con dosis a roseta de 67 UN, la aplicación de 30 y 90 a C1 no se diferenciaron entre ellas, pero sí se diferenció estadísticamente la dosis de 90 a la no aplicación, y esta última no se diferencio a la dosis de 30 UN. Aplicando una dosis de 67 UN a roseta y no aplicar en C1, fue posible obtener rendimientos de 1700 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en cambio con dosis a elongación de 90 UN se obtuvo un rendimiento de 4570 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Para dosis de 97 UN a roseta, la no aplicación no se diferencio significativamente de agregar nitrógeno a C1. Siendo la dosis de 30 UN quien obtuvo el mayor rendimiento relativo, en términos absolutos fue posible obtener rendimientos de 4800 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Al no fertilizar a elongación, la dosis a roseta de 67 UN fue significativamente menor en comparación a las otras dosis agregadas, el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 97 UN a roseta, obteniendo un rendimiento de 3600 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Con dosis de 30 UN a C1, estadísticamente no se diferenciaron para las diferentes dosis agregadas a roseta, lográndose un rendimiento máximo de 4800 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. De igual forma sucedió con las dosis de 60 y 90 UN a C1.

En resumen, aplicando dosis bajas a roseta, no se encontró diferencias significativas entre aplicar o no hacerlo al estadio de C1, aunque la diferencia de rendimiento fue un 48% superior al agregar 30 UN en comparación a no aplicar fertilizante a elongación. Aplicando dosis de 67 UN a roseta sería suficiente con el agregado de 30 UN a elongación para obtener un rendimiento

de 3400 kg.ha⁻¹, en cambio con dosis altas a roseta se estaría cubriendo la demanda por parte del cultivo, ya que los rendimientos relativos no se diferenciaron estadísticamente entre aplicar y no hacerlo, aunque la diferencia de rendimiento relativo a favor del agregado de 30 UN a C1 es del 25% en comparación a la no aplicación.

El régimen hídrico condicionó estos resultados, ya que las precipitaciones ocurridas luego de las aplicaciones en roseta estuvieron por debajo de lo normal (Figura No. 1). En un año donde ocurra un exceso hídrico durante el invierno, y se genere lixiviación de nutrientes, es probable que las dosis aplicadas a roseta no logren el resultado que se obtuvo en la presente tesis, lo que nos indica que las fertilizaciones en elongación también son necesarias, más aún, considerando los requerimientos nutricionales del cultivo así como la tasa de extracción de nutrientes que el sistema de producción actual tiene con 1,5 cultivos por año.

5. CONCLUSIONES

El rendimiento en grano de canola se relacionó significativamente con la concentración de nitrógeno en planta al estadio de elongación, donde se estableció un rango crítico probable entorno al 3%.

Cuando la concentración de N se ubicó entre 2,5 y 3,3%, la fertilización con N en C1 logró rendimientos similares a los obtenidos cuando el porcentaje de N estuvo por encima de 3,3%, por lo que este rango podría utilizarse para definir dosis de N a este estadio. En tanto, por debajo del 2,5% de N en C1, si bien existió respuesta a la dosis máxima de N estudiada, el rendimiento máximo fue menor al obtenido en las otras dos categorías, indicando que esta subnutrición ya limitó el rendimiento alcanzable para la situación estudiada.

La fertilización nitrogenada al estado de roseta podría ser una alternativa para llegar al estadio C1 con al menos más de 2,5% de N en planta y no limitar el rendimiento. El número de silicuas.m² y número de granos.m² fueron los componentes de rendimiento asociados a la variación de rendimiento en grano explicada por el estadio nutricional del cultivo en C1 y la respuesta a la fertilización nitrogenada en ese estadio.

6. RESUMEN

Los experimentos fueron realizados en una chacra comercial perteneciente a la empresa El Tejar, en el departamento de Soriano durante el año 2011. Se evaluó el efecto de la fertilización con nitrógeno en situaciones no limitantes de azufre sobre el estado nutricional del cultivo en elongación, el rendimiento en grano y los componentes del mismo. Se instalaron dos ensayos en zonas topográficas diferentes, identificadas como alto y bajo, donde se aplicaron dosis de nitrógeno en estado de roseta y elongación. Se determinó el contenido de nitrógeno, azufre en planta y materia seca en elongación, materia seca a cosecha, el rendimiento en grano así como los diferentes componentes del mismo. Debido a las diferencias en profundidad del suelo entre y dentro de cada ensayo, se corrigieron las variables afectadas, siendo la materia seca en elongación quien más se vio influenciada por la profundidad total. Durante el período del cultivo, las precipitaciones fueron por debajo de lo esperado para la zona, existiendo momentos donde fueron escasas y afectaron el crecimiento vegetativo, sin embargo el rendimiento final no se afectó ya que las condiciones climáticas a fin de floración y llenado de grano fueron adecuadas. Las aplicaciones realizadas a elongación tienen efecto significativo sobre el rendimiento, pudiéndose encontrar tres grupos de respuesta a la fertilización. Por debajo de 3,2% de nitrógeno en planta a elongación, las aplicaciones de 30, 60 y 90 kg N.ha⁻¹ logran incrementos lineales significativos en el rendimiento. El rendimiento estuvo discriminado en mayor medida por el peso de grano y luego por las silicuas por superficie.

Palabras clave: Nitrógeno; Roseta; Elongación; Rendimiento; Azufre; Materia Seca; Nitrato; Índice Cosecha; Peso de grano.

7. SUMMARY

The experiments were conducted in a commercial farm belonging to the company The Tejar, in the department of Soriano in 2011. The effect of nitrogen fertilization in non limiting sulfur on the nutritional status of the crop in elongation, grain yield and its components. Two trials were installed in different topographical areas identified as high and low, where nitrogen doses were applied in rosette status and elongation. Content was determined by nitrogen and sulfur in plant dry matter elongation, dry matter yield, grain yield and the various components thereof. Due to differences in depth of the soil between and within each trial, corrected variables concerned, being the elongation dry matter who was influenced more by the total depth. During the growing period, rainfall was less than expected for the area, there were few moments where vegetative growth and affected, but the final yield was not affected because the weather to flowering and grain filling were adequate. Applications made to elongation have significant effect on performance, because we find three groups of response to fertilization. Below 3,2% nitrogen in plant elongation, applications 30, 60 and 90 kg N.ha⁻¹ linear achieve significant increases in performance. This was determined more by the grain weight and then by surface pods.

Key words: Nitrogen; Rosette; Elongation; Yield; Sulfur; Dry Matter; Nitrate; Harvest Index; Grain weight.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AGOSTI, M.B.; MIRALLES, D.J. 2007. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de colza-canola. (en línea). Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Cátedra de Cultivos Industriales y Cereales. 2 p. Consultado 21 set. 2011. Disponible en http://www.agro.uba.ar/agrocatedrascul_indusnutricion_canola.
2. _____. 2011. Fertilización nitrógeno-azufrada y variabilidad genotípica en el rendimiento y la calidad de grano en colza-canola (*Brassica Napus* L.). Tesis Magister, Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad Agronomía. 144 p.
3. AGUIRRE, M.; URIARTE, I. 2010. Respuesta del cultivo de Colza-Canola (*Brassica napus*) a las condiciones físico-químicas del suelo a nivel de chacra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 36 p.
4. AHMAD, G.; JAN, A.; ARIF, M.; JAN, M.T.; KHATTAK, R.A. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science B*. 8(10):731-737.
5. ALMOND, J.A.; DAWKINS, T.C.K.; ASKEW, M.F. 1986. Aspects of crop husbandry. In: Scarisbrick, D.H., Daniels, R.W. eds. *Oilseed rape*. London, Collins. pp. 127-176.
6. ANJUM, N.A.; UMAR, S.; SINGH, S.; NAZAR, R.; KHAN, N.A. 2008. Sulfur assimilation and cadmium tolerance in plants. Berlin, Springer-Verlag. pp. 271-302.
7. BLAKE-KALFFL, M.M.A.; HAWKESFORD, M.J.; ZHAO, F.J.; McGRATH, S.P. 2000. Diagnosing sulfur deficiency in field-grown oilseed rape. (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*. 225: 95-107.
8. BURZACO, J.P.; CIAMPITTI, I.; GARCIA, F. 2009. Mejores prácticas de manejo para la nutrición del cultivo de Colza-Canola; una revisión. *Información Agronómica del Cono Sur*. no. 42: 1-8.

9. CANADÁ. CANOLA COUNCIL OF CANADA. 2002. Canadian Canola industry. (en línea). Winnipeg. 3 p. Consultado 18 nov. 2011. Disponible en http://www.canolacouncil.org/ind_overview.aspx
10. CETIOM. 2008. Stades repères du colza. (en línea). Thiverval-Grignon. 7 p. Consultado 4 oct. 2011. Disponible en <http://www.cetiom.fr/index.php?id=14638>
11. CIAMPITTI, A.I.; GARCÍA, F. O. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. (en línea). Buenos Aires, IPNI. pp. 13-16. Consultado 6 nov. 2011. Disponible en <http://www.ipni.net>
12. DI RIENZO J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2008. InfoStat versión 2008. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. Grupo InfoStat. s. p.
13. FONTANETTO, H.; GIANINETTO, G.; WEDER, E.; GAMBAUDO, S.; SILLON, M.; BOSCHETTO, H. 2011. Fertilización de Colza con nitrógeno y azufre en la región central de Santa Fé. INTA. Publicación Miscelánea. no. 119. 7 p.
14. GAMBAUDO, S.; FONTANETTO, H.; KUCHEN, M.G. 2010. Fertilización del cultivo de colza en el centro de Santa Fé. INTA. Publicación Miscelánea. no. 109. 8 p.
15. GARCIA, L.; QUINCKE, A. 2011. El azufre en cereales de invierno; resumen de resultados experimentales y repaso de la teoría. Revista INIA. no. 24: 37-40.
16. GRANT, C.A.; BAILEY, L.D. 1993. Fertility management in Canola production. Canadian Journal of Plant Science. 73:651-670.
17. HOCKING, P.J.; RANDALL, P.J; DEMARCO. D. 1997. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer; partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects. Field Crops Research. 54: 201-220.

18. _____.; NORTON, R.; GOOD, A. 1999. Canola nutrition. (en línea). Canberra, Crop Nutrition. 11 p. Consultado 12 oct.2011.Disponible en <http://www.regional.org.au/au/gcirc/canola/p-05.htm>
19. INFORMACIÓN AGROPECUARIA. 2012. Canola; 1700 kg de promedio. (en línea). Montevideo. 1 p. Consultado 12 ene. 2012. Disponible en <http://www.infoagro.com.uy/index.php/agricultura/307-canola-1700-kilos-de-promedio>
20. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (INIA). 2010. Evaluación de cultivares de invierno. Convenio INIA-INASE. (en línea). Montevideo.146 p. Consultado 9 feb. 2012. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/winv11.pdf
21. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGRÍCOLA (INTA). 2002. El cultivo de Colza-Canola. (en línea). Pergamino. 17 p. Consultado 21 nov. 2011. Disponible en http://www.inta.gov.ar/barrowinfodocumentosagriculturacolzamanual_colza.pdf
22. INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI). 2009. Cálculo requerimientos nutricionales. Acassuso. 3 p.
23. IRIARTE, L.B. 2002a. Colza; cultivares, fecha de siembra, fertilización. Tres Arroyos, INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. 4 p.
24. _____. 2002b. El cultivo de Colza en Argentina. Buenos Aires, INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. 7 p.
25. KIMBER, D.S.; MCGREGOR, D.I. 1995. The species and their origin, cultivation and world production. In: Brassica oilseeds, production and utilization. Wallingford, UK, CAB International. pp. 1-7.
26. MALHI, S. 1999. Correcting sulphur deficiency in canola- During the growing saeson. Saskatoon Research Centre. Research letter no. 99-02. 3 p.
27. MARTINO, D.L.; PONCE DE LEON, F. 1999. Canola; una alternativa promisoría. Montevideo, INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 105).
28. MAZZILLI, S.; HOFFMAN, E. 2006. Respuesta a la fertilización con azufre en el cultivo de colza-canola en suelos del litoral norte de Uruguay.

- (en línea). Paysandú, IPNI. p. 4. Consultado 21 nov. 2011. Disponible en. [http://www.ipni.netppiwebiaarg.nsf\\$webindex](http://www.ipni.netppiwebiaarg.nsf$webindex)
29. MELCHORI, R.; BARBAJELATA, P.; COLL, L. 2010. Fertilización de colza con nitrógeno y azufre en Entre Ríos. Paraná, INTA. 7 p. (Actualización Técnica no. 1).
 30. MURPHY, G. M.; PASCALE, N.C. 1989. Agroclimatología de la colza de primavera (*Brassica napus* L. ssp *oleifera* (Metz) Sinsk F. *annua*) y su posible difusión en la Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. 10(3): 159-176.
 31. NEWBOULD, P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically an ecologically? In: Clarholm, M.; Bergström, L. eds. Ecology of arable land. Dordrecht, Kluwer. pp. 281-295.
 32. OKLAHOMA STATE UNIVERSITY (USA). DEPARTMENT OF PLANT AND SOIL SCIENCES. 2009. OKANOLA Program. (en línea). Stillwater. s. p. Consultado 28 oct. 2011. Disponible en <http://www.canola.okstate.edu/index.htm>
 33. ÖZDEN, Ö. 2003. Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brassica napus* L.), Chileanjar. Chilean Journal of Agricultural Research. 70(1):132-141.
 34. PLANCHON, M.E.; FIGARES, H.J. 2004. Fertilización en colza-canola (*Brassica napus* L.). Fenología y época de siembra en cultivares de *B. napus*, *B. rapa* y *B. juncea*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad Agronomía. 143 p.
 35. PINILLA, Q. 2008. Informe fertilización de rasps Canola. Temuco, Universidad de La Frontera. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 41 p.
 36. PINKERTON, A. 1995. Critical sulfur concentrations in Oilseed Rape (*Brassica Napus*) in relation to nitrogen supply and to plant age. Australian Journal of Experimental Agriculture. no. 30: 511-522.
 37. POUZET, A. 1995. Agronomy. In: Kimberr, D.; Mc. Gregor, D.I. eds. Brassica oilseeds, production and utilization. Wallingford, UK, CAB international. 394 p.

38. RATHKE, G.W.; CHRISTEN, O.; DIEPENBROCK, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*. 94: 103-113.
39. RIFFKIN, P.; POTTER, T.; KEARNEY, G. 2012. Yield performance of late-maturing winter Canola (*Brassica napus* L.) types in the high Rainfall zone of Southern Australia. *Crop and Pasture Science*. no. 63: 17-32.
40. ROSS, F. 2007. Evaluación del comportamiento Agronómico de variedades de Colza según la fecha de siembra. (en línea). Balcarce, EEA INTA Balcarce. 2 p. Consultado 10 feb. 2012. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/evaluación-de-comportamiento-agronomico-de-variedades-colza-según-fechas-de-siembra/>
41. SARANDÓN, S. J. A.; CHAMORRO, R.; BEZUS; GIANIBELLI, M.C. 1993. Respuesta de la colza (*Brassica napus* L var. oleífera) a la fertilización nitrogenada. Efecto sobre la producción de biomasa, rendimiento de semilla y sus componentes. *Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)*. 69: 63-67.
42. SCHEINER, J.D.; GUTIÉRREZ, B.; LAVADO, R.S. 1999. Fertilización en Colza-Canola. (en línea). Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. 5 p. Consultado 21 set. 2011. Disponible en <http://www.ipni.netppiwebiaarg>.
43. TAMAGNO, L.N.; CHAMORRO, A.M.; SARANDON, S.J. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. spp oleífera forma annua); efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. (en línea). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 104 (1): 25-32. Consultado 21 nov. 2011. Disponible en http://www.inta.gov.ar/paranainfobibliotecapublicacionesActTecActTec_N001_15.pdf
44. TAYO, T.O.; MORGAN, D.G. 1975. Quantitative analysis of the growth development and distribution of flowers and pods in oil seed rape (*Brassica napus* L.). *Journal Agriculture Sciences (Cambridge)*. 85: 103-110.

45. THOMAS, P. 2004. Canola growers manual. (en línea). Manitoba, Canola Council of Canada. 12 p. Consultado 26 oct. 2011. Disponible en http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx.
46. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 2003. Foreign agricultural service report. (en línea). Washington, D.C. 5 p. Consultado 29 oct. 2011. Disponible en <http://www.fas.usda.gov/wap/circular/2003/03-02/tables.html>
47. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE INVESTIGACIONES ECONOMICAS AGROPECUARIAS. 2011. Encuesta agrícola 2011. (en línea). Montevideo. 3 p. Consultado 2 oct. 2011. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hqxpp001.aspx?7,5,114,o,s,0,MNU;31;2;MNU>
48. VALENZUELA, O.R.; GALLARDO, C.S. 1995. Respuesta a la fertilización nitrogenada en diferentes estadios fenológicos del cultivo de canola. In: Reunión Nacional de Oleaginosos (2ª. 1995, Pergamino). Actas. Pergamino, s.e. pp. 154-159.
49. VALETTI, O.E. 1996. El cultivo de Colza- Canola. (en línea). Buenos Aires, Chacra Experimental Integrada Barrow. 17 p. Consultado 21 set. 2011. Disponible en http://www.inta.gov.ar/barrowinfodocumentosagriculturacolzamanual_colza.pdf
50. VELICKA, R.; RINKEVICIENE, M.; NOVICKIENE, L.; ANISIMOVIE, N.; BRAZAUSKIENE, I. 2005. Improvement of oil rape hardening and frost tolerance. Russian Journal of Plant Physiology. 52 (4): 473-480.
51. ZAMORA, M.; MACCIGOGGE, J. 2009. Fertilización de Colza con N y S en el centro sur bonaerense. Tres Arroyos, INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. 5 p.
52. ZHAO, F.J.; EVANS, E.J.; BILSBORROW, P.E.; SYERS, J.K. 1992. Sulphur uptake and distribution in double and single low varieties of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Newcastle, UK, The University Newcastle upon Tyne. Faculty of Agriculture and Biological Sciences. pp. 69-76.
53. ZHOU, W; ZHAO, D; LIN, X. 1996. Effects of waterlogging on nitrogen accumulation and alleviation of waterlogging damage by application of

nitrogen fertilizer and mixtalol in winter rape (*Brassica napus* L).
Journal of Plant Growth Regulation. no.16: 47-54.

9. ANEXOS

1) Descripción textura del suelo de los ensayos alto y bajo

Zona	Parcela	Horizonte	% arcilla	%arena	%limo	Textura
ALTO	1	HA	32	36	33	Fra. Arcilloso
ALTO	1	BC	16	37	47	Franco
ALTO	25	HA	26	46	28	Franco
ALTO	25	HB	32	42	27	Fra. Arcilloso
ALTO	25	HBC	31	36	33	Fra. Arcilloso
ALTO	26	HA	20	39	41	Franco
ALTO	26	HB	23	38	39	Franco
ALTO	26	HBC	28	33	39	Fra. Arcilloso
BAJO	1	HA	29	48	23	Fra. Arcilloso
BAJO	1	HBC	33	37	30	Fra. Arcilloso
BAJO	18	HA	22	50	28	Franco
BAJO	18	HBC	35	42	24	Fra. Arcilloso

2) Experimento zona bajo

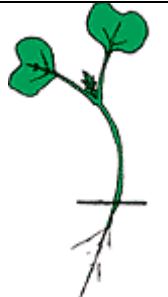

6 (3)	4 (4)	2 (8)	5 (9)	1 (14)	X	8 (20)	9 (23)	2 (18)
3 (2)	2 (5)	7 (19)	1(10)	5 (13)	X	4 (15)	9 (22)	6 (17)
5 (1)	3 (6)	4 (7)	3(11)	6 (12)	X	1 (16)	8 (21)	9 (24)


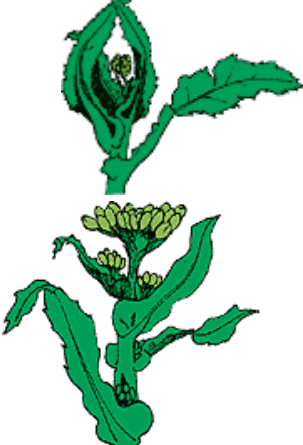

() No. Parcela


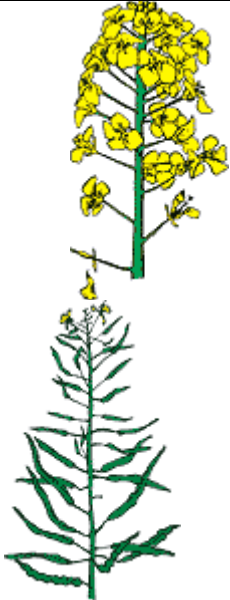
En rojo, tratamientos

3) Escala fenológica

La escala CETIOM es la más utilizada en Argentina y Europa

 <p>Etapa A</p>	<p>A- etapa cotiledonar</p> <p>A: Sin hojas verdaderas. Dos cotiledones visibles</p>
 <p>Las fases B1 y B4</p>	<p>B- formación roseta</p> <p>B1: 1 hoja verdadera desplegada</p> <p>B2: 2 hojas verdaderas desplegadas</p> <p>B3: 3 hojas verdaderas desplegadas</p> <p>B4: 4 hojas verdaderas desplegadas</p> <p>Bn: n hojas verdaderas desplegadas</p>

 <p data-bbox="542 548 678 579">Etapa C2</p>	<p data-bbox="776 348 987 380">C- elongación</p> <p data-bbox="776 422 1357 495">C1: Aumento de la vegetación. Aparición de las hojas jóvenes</p> <p data-bbox="776 537 1357 642">C2: Entrenudos visibles. Estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos peciols</p>
 <p data-bbox="496 1178 724 1209">Etapas D1 y D2</p>	<p data-bbox="776 758 1032 789">D- yemas unidas</p> <p data-bbox="776 831 1312 905">D1: Yemas unidas escondidas por las hojas terminales</p> <p data-bbox="776 947 1325 1052">D2: Inflorescencia principal despejada, aún con yemas unidas. Inflorescencias secundarias visibles</p>
 <p data-bbox="553 1556 667 1587">Etapa E</p>	<p data-bbox="776 1289 1081 1320">E- yemas separadas</p> <p data-bbox="776 1362 1325 1478">E: Yemas separadas. Los pedúnculos florales periféricos comienzan a alargarse</p>

 <p>Etapa F1</p>	<p>F- floración</p> <p>F1: Primeras flores abiertas</p> <p>F2: Alargamiento de la vara floral. Numerosas flores abiertas</p>
 <p>Etapa G1 y G4</p>	<p>G- formación de silicua</p> <p>G1: Caída de primeros pétalos. Las 10 primeras silicuas tienen un largo menor a 2 cm. Comienza la floración de inflorescencias secundarias</p> <p>G2: Las 10 primeras silicuas miden entre 2 y 4 cm</p> <p>G3: Las 10 primeras silicuas tienen un largo mayor a 4 cm</p> <p>G4: Las 10 primeras silicuas comienzan a madurar</p> <p>G5: Granos coloreados</p>

4) Experimento zona alto

6 (3)	4 (4)	2 (7)	5 (12)	1 (13)	9 (18)	10 (19)	10 (24)	2 (25)
3 (2)	2 (5)	7 (8)	1 (11)	5 (14)	9 (17)	4 (20)	11 (23)	6 (26)
5 (1)	3 (6)	4 (9)	3 (10)	6 (15)	8 (16)	1 (21)	7 (22)	X

() No. Parcela

Enrojo, tratamientos