

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**FERTILIZACIÓN EN COLZA-CANOLA (*BRASSICA NAPUS L.*).
FENOLOGÍA Y ÉPOCA DE SIEMBRA EN CULTIVARES DE *B. NAPUS*, *B. RAPA* Y *B.*
*JUNCEA***

POR

**M^a EUGENIA PLANCHON GUIGOU
HUGO JAVIER FIGARES ESPÓSITO**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS
REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2004**

Tesis aprobada por :

Director:

Ing. Agr. PhD. Juan Enrique Díaz Lago

Ing. Agr. Esteban Hoffman Bersain

Ing. Agr. PhD. Enrique Ariel Castiglioni Rosales

Fecha:

Autores:

M^a Eugenia Planchon Guigou

Hugo Javier Figares Espósito

A NUESTRAS FAMILIAS Y AMIGOS

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseamos llevar nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, las que nos apoyaron y colaboraron incondicionalmente para que pudiera resultar este trabajo al igual que toda la carrera.

En segundo lugar deseamos agradecer a nuestros amigos, con los que contamos en las buenas y en las malas.

Al Ing. Agr. PhD. Juan Díaz, por su invaluable apoyo en todas las etapas de este trabajo, como técnico y como persona.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Estación Experimental La Estanzuela, en particular a Coco, Fernando y Andrés, por su gran colaboración en las tareas de campo.

A los Ing. Agr. Esteban Hoffman y Enrique Castiglioni, docentes de Facultad de Agronomía.

A los Ing. Agr. Adriana García, Alejandro Morón y Jorge Sawchick por los aportes realizados.

A todos los que en algún momento de este período realizaron algún aporte o colaboraron con nosotros, de la manera que fuera, para que este trabajo se realizase de manera más amena y lo mejor posible.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
<u>1.- INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>1</u>
<u>2.- CAPÍTULO I: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y</u>	
<u>AZUFRA EN CANOLA.....</u>	<u>6</u>
2.1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1.1.- Patrones de Crecimiento.....	6
2.1.2.- Nitrógeno.....	8
2.1.2.1.- Efecto de la Fertilización Nitrogenada.....	9
2.1.2.2.- Requerimientos.....	17
2.1.2.3.- Síntomas de deficiencia.....	18
2.1.2.4.- Nitrógeno en Planta.....	19
2.1.2.5.- Momento de aplicación.....	21
2.1.2.5.1.- Fertilización basal.....	22
2.1.2.5.2.- Fraccionamiento.....	23
2.1.3.- Azufre.....	24
2.2.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
2.2.1.- Manejo.....	33
2.2.2.- Variables analizadas.....	36
2.2.2.1.- Fenología y datos de suelo.....	36
2.2.2.2.- Rendimiento y sus componentes.....	36
2.2.2.3.- Biomasa.....	37
2.2.2.4.- Cobertura del suelo.....	37
2.2.2.5.- Área foliar.....	37
2.2.2.6.- Altura.....	38
2.2.2.7.- Contenido de nitrógeno y aceite.....	38
2.3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
2.3.1.- Clima.....	40
2.3.2.- Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de grano.....	40
2.3.2.1.- Respuesta a la dosis total de nitrógeno agregado.....	41
2.3.2.2.- Momento de aplicación.....	42
2.3.2.3.- Análisis combinado del factorial: dosis y momentos de aplicación.....	45
2.3.2.3.1.- Agregado a siembra.....	48
2.3.2.3.2.- Agregado a roseta.....	49
2.3.2.3.3.- Agregado a elongación.....	51
2.3.3.- Componentes del rendimiento según N agregado.....	52
2.3.3.1.- Nitrógeno total agregado.....	52
2.3.3.2.- Momento de aplicación.....	55
2.3.3.2.1.- Población.....	55
2.3.3.2.2.- Silicuas por planta.....	56
2.3.3.2.3.- Granos por silicua.....	58
2.3.3.2.4.- Peso de granos.....	59

2.3.4.- Influencia del N sobre los parámetros de crecimiento.....	61
2.3.4.1.- Biomasa.....	61
2.3.4.2.- Cobertura.....	71
2.3.4.3.- Área foliar.....	72
2.3.4.4.- Altura a floración.....	75
2.3.4.5.- Nitrógeno en Planta.....	77
2.3.4.5.1.- Proporción de la biomasa.....	77
2.3.4.5.2.- Cantidad almacenada.....	87
2.3.4.6.- Índice de cosecha.....	95
2.3.5.- Contenido de nitrógeno en suelo en función de la fertilización nitrogenada.....	96
2.3.6.- Calidad de grano y N agregado.....	97
2.3.6.1.- Nitrógeno total agregado.....	97
2.3.6.2.- Momento de aplicación.....	98
2.3.7.- Efecto de la fertilización azufrada.....	101
2.3.7.1.- Rendimiento en grano y sus componentes.....	101
2.3.7.2.- Parámetros de crecimiento.....	102
2.3.7.3.- Parámetro de calidad.....	102
2.4.- CONCLUSIONES.....	104
2.5.- RESUMEN.....	106
2.6.- SUMMARY.....	108
3.- CAPITULO II: EFECTO DE LA ÉPOCA DE SIEMBRA SOBRE EL DESARROLLO FENOLÓGICO EN DIVERSOS CULTIVARES DE <i>B. RAPA</i> , <i>B.</i> <i>JUNCEA</i> Y <i>B. NAPUS</i>	109
3.1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	109
3.1.1.- Especies utilizadas.....	109
3.1.2.- Fenología y aspectos fisiológicos.....	113
3.1.2.1.- Germinación.....	114
3.1.2.3.- Roseta.....	114
3.1.2.4.- Elongación.....	116
3.1.2.5.- Floración.....	118
3.1.2.6.- Maduración.....	123
3.1.3.- Factores que afectan el desarrollo fenológico.....	128
3.1.3.1.1.- Temperatura base y métodos de cálculo.....	129
3.1.3.1.2.- Duración de los estadios.....	130
3.1.3.2.- Vernalización.....	132
3.1.3.3.- Fotoperíodo.....	133
3.2.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	136
3.3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	138
3.3.1.- Clima.....	138
3.3.2.- Efecto de la época de siembra y cultivares.....	139
3.3.2.1.- Evolución del ciclo según fecha de siembra.....	140
3.3.2.2.- Comportamiento de los cultivares.....	147
3.4.- CONCLUSIONES.....	155

3.5.- RESUMEN.....	156
3.6.- SUMMARY.....	157
<u>4.- BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>158</u>
<u>5.- ANEXOS.....</u>	<u>165</u>

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Descripción de la Escala de CETIOM modificada. (adaptado de CETIOM, 1978).....	3
Cuadro 2. Respuesta en rendimiento según nitrógeno en suelo.....	10
Cuadro 3 . Estimación de la reducción en el % de aceite en varios cultivos según autores (adaptado de Almond <i>et al.</i> , 1986).....	12
Cuadro 4. Porcentajes esperados de azufre en plantas de canola.....	31
Cuadro 5. Estructura de los tratamientos aplicados en Eclipse y Master.....	35
Cuadro 6. Coeficientes estadísticos de la variable rendimiento.....	40
Cuadro 7. Análisis de varianza de la variable rendimiento por tratamiento.....	41
Cuadro 8. Tasa de crecimiento según período del ciclo.....	63
Cuadro 9. Diferencias morfofisiológicas entre <i>B. rapa</i> y <i>B. napus</i> (adaptado de Canola Council, 2003; Mendham <i>et al.</i> , 1995).....	113
Cuadro 10. Especies evaluadas y sus cultivares.....	136
Cuadro 11: Régimen térmico mensual para La Estanzuela.....	139
Cuadro 12. Días y °C.día a emergencia para las diferentes épocas de siembra.....	139

Figura 1. Escala de estados fenológicos de CETIOM (CETIOM, 1978).....	5
Figura 2. Régimen semanal de precipitaciones y temperatura media para el período de crecimiento del cultivo.....	40
Figura 3. Rendimiento en grano (kg/ha) de los cultivares Eclipse (a) y Master (b) en función de la fertilización nitrogenada total.....	42
Figura 4. Rendimiento en Eclipse y Master según dosis a siembra, roseta y elongación	44
Figura 5. Efecto de la fertilización nitrogenada a la siembra, roseta y elongación sobre el rendimiento en grano de Eclipse.....	46
Figura 6. Efecto de la fertilización nitrogenada a la siembra, roseta y elongación sobre el rendimiento en grano de Master.....	47
Figura 7. Granos por silicua, silicuas por planta y peso de mil granos según N total agregado en Eclipse y Master.....	54
Figura 8. Rendimiento según población a cosecha en Eclipse (izq.) y Master (der.).....	56
Figura 9. Silicuas/planta según dosis a siembra, roseta y elongación.....	57
Figura 10. Granos/silicua según dosis a siembra, roseta y elongación.....	59
Figura 11. Peso de mil granos según dosis a siembra, roseta y elongación.....	60
Figura 12. Acumulación de materia seca según días pos siembra (dps) por nitrógeno total agregado.....	62
Figura 13. Biomasa a roseta en función de la dosis de N a siembra.....	63
Figura 14. Biomasa al estadio E en función de las dosis de N a siembra y roseta.....	64
Figura 15. Biomasa a F2 en función de las dosis de N a siembra, roseta y elongación...	66
Figura 16. Biomasa a G3 en función de dosis de N a siembra, roseta y elongación.....	68
Figura 17. Biomasa a G4 en función de la dosis de N a siembra roseta y elongación.....	70
Figura 18. Cobertura a B4 según nitrógeno a siembra para Eclipse y Master.....	71
Figura 19. Índice de área foliar (IAF) a B4 según dosis a siembra.....	72
Figura 20. Índice de área foliar (IAF) a E según dosis a siembra y roseta.....	73
Figura 21. Índice de área foliar (IAF) a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación.	74

Figura 22. Altura de planta a F2 según nitrógeno total agregado para los dos materiales	75
Figura 23. Altura de las plantas a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	76
Figura 24. Concentración de N (%) en planta según días pos siembra por N total agregado.....	78
Figura 25. Concentración de N (%) en planta a B4 según dosis a siembra.....	79
Figura 26. Concentración de N (%) en planta a E según dosis a siembra y roseta.....	80
Figura 27. Concentración de N (%) en planta a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	81
Figura 28. Concentración de N (%) en hoja a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	82
Figura 29. Concentración de N (%) en planta a G3 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	84
Figura 30. Concentración de N (%) en planta a G4 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	85
Figura 31. Concentración de N (%) en grano a cosecha según N agregado a siembra, roseta y elongación.....	86
Figura 32. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a B4 según dosis a siembra.....	87
Figura 33. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a E según dosis a siembra y roseta..	88
Figura 34. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	89
Figura 35. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a G3 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	90
Figura 36. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a G4 según dosis a siembra, roseta y elongación.....	91
Figura 37. Evolución del promedio de nitrógeno acumulado en planta según dps por N total agregado.....	93
Figura 38. Valores promedios de índice de cosecha (IC), rendimiento (REND) y biomasa final (MS), según nitrógeno total agregado.....	96

Figura 39. Evolución de N-NO ₃ (0-20 cm) en la situación de Eclipse y Master sin agregado de N.....	96
Figura 40. N-NO ₃ en suelo (0-20 cm) a B4 según nitrógeno agregado a siembra.....	97
Figura 41. Concentración de aceite (%) en grano según N total agregado.....	98
Figura 42. Concentración de aceite (%) en grano según N agregado a siembra, roseta y elongación.....	99
Figura 43. Producción de aceite (kg/ha) en grano según nitrógeno total agregado.....	99
Figura 44. Rendimiento y concentración de aceite en función del rendimiento en grano para Eclipse y Master.....	100
Figura 45. Relación Genómica entre las especies del Género <i>Brassica</i> . (Kimber <i>et al.</i> , 1995).....	110
Figura 46: Régimen pluviométrico mensual para La Estanzuela.....	138
Figura 47 . Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en <i>B. rapa</i>	143
Figura 48 . Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en <i>B. juncea</i>	144
Figura 49. Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en híbridos de <i>B. napus</i>	145
Figura 50. Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en variedades de <i>B. napus</i>	146
Figura 51 . Probabilidad de momento de ocurrencia de primer y última helada en césped	147
Figura 52. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de abril..	149
Figura 53. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de mayo. .	151
Figura 54. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de junio..	153
Figura 55. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de julio....	154

1.- INTRODUCCIÓN

La colza es una oleaginosa de invierno, perteneciente a la familia de las Crucíferas y al género *Brassica*, de origen asiático. Esta denominación engloba tres especies: *B. rapa* (*ex campestris*), *B. napus* y *B. juncea*. En India, China y Europa del centro y norte se han cultivado por centenares de años, mientras que a América no fueron introducidas sino hasta antes de la Segunda Guerra Mundial (Busch *et al.*, 1994).

Estas especies no fueron cultivadas en Canadá sino hasta después de la guerra. Los suministros de aceite de colza desde Europa y Asia fueron suspendidos y la necesidad de combustible para los barcos llevó a que se extendiera el cultivo en esa región. La producción aumentó hasta fines de la década de los '40 cuando decayó abruptamente por falta de demanda (Rubino, 1993).

A mediados de los '50, con la Guerra Fría y habiendo grandes deficiencias de aceite en Canadá, surgió la posibilidad de usar el aceite de colza como comestible. La colza produce un aceite con un nivel de ácido erúico que es perjudicial para la salud humana, además de poseer bajos niveles de digestibilidad (Caroll, 1992, citado por Busch *et al.*, 1994). En base a esto inició un proyecto para disminuir el ácido erúico en la semilla y posteriormente bajar los niveles de glucosinolato en la torta (Busch *et al.*, 1994).

De aquí la denominación de CANOLA a la colza obtenida por mejoramiento, lo cual es el acrónimo de "Canadian Oil Low Acid", cuando presenta en sus granos tenores de ácido erúico menores al 2 % en el aceite y contenidos de glucosinolatos en la torta (subproducto del prensado) menores de 30 μ moles gramo⁻¹.

Por ser este un cultivo muy importante a nivel mundial, son muchos los esfuerzos que se han puesto en cuanto a su mejoramiento. Cabe mencionar que hay una amplia gama de variedades tolerantes a diferentes herbicidas, que incluyen materiales transgénicos y también no transgénicos. Dentro de las primeras pueden encontrarse cultivares con tolerancia a triazina (TT), glifosato (RR), glufocinato de amonio (Liberty Link) y bromoxinilo (BX). Los materiales mutagénicos (no transgénicos) presentan tolerancia a los herbicidas en base a sulfonilurea e imidazolinonas (Clearfield) (Libred, 2000).

Esta oleaginosa es apreciada por su aceite, principalmente en los estratos sociales más elevados, por estar caracterizado como de gran valor por su composición en ácidos grasos. Además posee como subproducto del prensado un material de muy buena calidad proteica, el cual se ubica segundo en producción mundial, después de la torta de soja (Alves, 2000). En nuestra región, en cambio, no fue un cultivo de importancia en el pasado y tiene escasa difusión en la actualidad.

En Argentina, durante el período 91/92 se sembraron 45 mil hectáreas, bajando a 3000 para la zafra 97/98. Estas variaciones están acompañadas por los precios del trigo en ese país, aumentando el interés por la oleaginosa en épocas de bajos valores para el trigo. El precio del grano se fija comúnmente antes del inicio de la zafra, a partir de lo que se estima valdrá el producto puesto en puertos internacionales. Para el año 1998 el precio fue fijado en 200 dólares la tonelada, subiendo a 220 por bajas producciones (Van Oppen, 2000a).

En Brasil el área sembrada pasó de 7,4 mil hectáreas en 1999 a casi 20 mil en el siguiente año. Esto estuvo influenciado principalmente por las malas características climáticas que venían afectando la producción de trigo en la vecina región, para las cuales la canola se postulaba como una alternativa eficaz. La situación en cuanto a precios es similar a la de Argentina, en cuanto a que son fijados por el mercado externo (Tomm, 2000).

En nuestro país las experiencias fueron escasas. Una iniciativa conjunta de la Central Cooperativa de Granos con Cooperativa Agropecuaria Limitada de Ombúes de Lavalle llevada a cabo en 1991, indujo a que un número pequeño de productores de la zona cultivara la especie. Desde entonces y hasta el pasado año, fueron sembradas anualmente en promedio 300 hectáreas (Martino *et al.*, 1999).

Las siembras estuvieron situadas en los meses de junio y julio, sobre rastrojo de cultivos de invierno y eventualmente pradera. En promedio las zafras terminaron entre la segunda y cuarta semana de noviembre, permitiendo cultivos de segunda muy tempranos. Los rendimientos fueron variables según los años pero generalmente satisfactorios (Martino *et al.*, 1999).

Con el panorama actual de los cultivos de verano, la canola podría ser incorporada en las rotaciones agrícolas fácilmente. Este cultivo tiene la ventaja de permitir liberar la chacra antes que los demás cultivos de invierno, además de poseer un rastrojo más fácil de descomponer, permitiendo una siembra de los cultivos de segunda más temprano. En siembras comparadas de soja sobre colza y soja sobre trigo, la primera a fines de febrero tenía unos 20 cm más de altura que la sembrada sobre trigo (Van Oppen, 2000).

Los objetivos de este trabajo se plantearon en base a estos antecedentes y la importancia que podría tener el estudio del cultivo tanto en su manejo como en el conocimiento de su adaptación a nuestro país. Teniendo en cuenta esto se determinaron los siguientes objetivos: 1) Estudiar, en dos materiales actuales, la respuesta a la fertilización nitrogenada según dosis y momento de aplicación, determinar si existe efecto de la fertilización con azufre. 2) Determinar la fenología de diferentes materiales de tres especies de *Brassica* en función de cuatro épocas de siembra.

Para poder cumplir con cualquiera de los objetivos planteados resulta necesario definir una escala fenológica. Existen varias escalas que caracterizan los estadios de desarrollo fenológico del cultivo. Ejemplos son Harper y Berkenkamp, 1975, Sylvester-Bradley y Makepeace, 1984 (citadas por Mendham *et al.*, 1995) y CETIOM, 1978. Esta última escala es la más comúnmente utilizada, por autores argentinos, así como también en Europa, por lo que será utilizada como referencia en estos ensayos (cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de la Escala de CETIOM modificada. (adaptado de CETIOM, 1978)

Período	Estado de CETIOM		Descripción
PLANTULA	“A”: cotiledonar		Sin hojas verdaderas. Dos cotiledones visibles.
	“B”: formación de roseta	“B1”	Una hoja verdadera desplegada.
		“B2”	Dos hojas verdaderas desplegadas
ROSETA	“C”: inicio elongación	“Bn”	“n” hojas verdaderas desplegadas.
		“C1”	Aumento de la vegetación. Aparición de hojas jóvenes
ELONGACIÓN		“C2”	Entrenudos visibles. Estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos.
		“D1”	Yemas unidas, escondidas por hojas terminales
	“D”: yemas unidas	“D2”	Inflorescencia principal despejada, aun con yemas unidas. Inflorescencias secundarias visibles.
		“E”: yemas separadas	Yemas separadas. Los pedúnculos florales periféricos comienzan a alargarse.
FLORACIÓN- MADURACIÓN	“F”: floración	“F1”	Primeras flores abiertas
		“F2”	Alargamiento de vara floral. Numerosas flores abiertas
	“G”: formación de silicuas	“G1”	Caída de primeros pétalos. Las diez primeras silicuas tienen un largo menor a 2 cm. Comienza la floración de inflorescencias secundarias
		“G2”	Las diez primeras silicuas miden entre 2 y 4 cm
		“G3”	Las diez primeras silicuas tienen un largo mayor a 4 cm
		“G4”	Las diez primeras silicuas comienzan a madurar
		“G5”	Granos coloreados

Dentro del período de “*plántula*”, el estado “A” de CETIOM o estado cotiledonar, se refiere a un estado donde no hay hojas “verdaderas”, siendo únicamente visibles los cotiledones, con forma acorazonada. El estado “B” se caracteriza por la aparición de hojas verdaderas, ausencia de entrenudos y de tallo “verdadero”. Cuando el cultivo llega a “*roseta*”, entra en un período de tolerancia a las heladas que comprendería desde tres hojas (B3) hasta que comienza la “*elongación*” del tallo, marcándose el fin del período de “*roseta*” con el aumento de la vegetación y aparición de hojas jóvenes (C1).

El comienzo del estado de “*elongación*” queda determinado por la aparición de entrenudos visibles, junto a un estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos, lo que es el tallo (estado C2). El estado “D” se caracteriza por la formación de los primordios florales, los cuales se mantienen unidos. En el estado “D1” las yemas se mantienen escondidas por las hojas terminales, mientras que en el siguiente estadio la inflorescencia principal, si bien mantiene las yemas unidas, se encuentra despejada, observándose la presencia de inflorescencias secundarias.

Con la separación de las yemas que componen la inflorescencia es que queda definido el estadio “E”, así como por el alargamiento de los pedúnculos florales, lo cual comienza por los de la periferia.

El período de “*floración-maduración*” comienza con el estadio “F1”, definido por la aparición de las primeras flores abiertas. Cuando ocurre el alargamiento de la vara floral, con la apertura de numerosas flores, el cultivo está incurriendo en el denominado estado “F2”.

El estado “G” o de maduración o de formación de silicuas, comienza con la caída de los primeros pétalos (G1). En este estadio las diez primeras silicuas tienen un largo inferior a los 2 cm y la floración de las inflorescencias secundarias comienza a ocurrir. El siguiente estado (G2) se caracteriza por presentar las primeras diez silicuas con un largo comprendido entre 2 y 4 cm; cuando dichas silicuas alcanzan un largo superior a 4 cm, el cultivo se encuentra en el estado “G3”, pasando al siguiente estadio cuando éstas últimas comienzan a madurar. El último estadio queda definido cuando los granos dejan de ser verdes para volverse coloreados (G5).

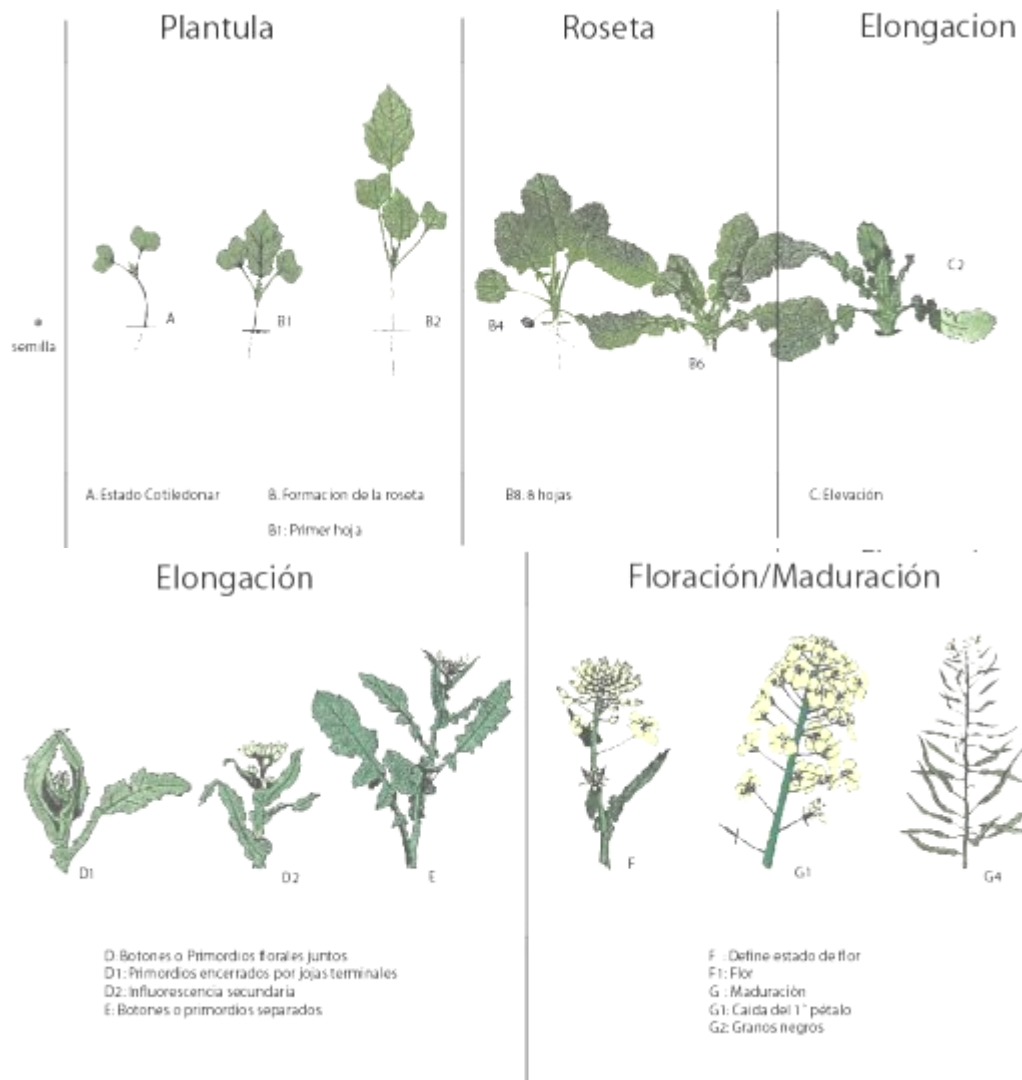


Figura 1. Escala de estados fenológicos de CETIOM (CETIOM, 1978).

2.- CAPÍTULO I: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRA EN CANOLA

2.1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como en la gran mayoría de los cultivos desarrollados en nuestro país, la aplicación de fertilizante es una variable de marcado peso en la producción de colza-CANOLA. La bibliografía consultada sobre este aspecto, caracteriza al cultivo como de altos requerimientos de nutrientes (Thurling, 1974a; Thurling, 1974b)

La cantidad de fertilizante requerido para obtener producciones óptimas depende del potencial de rendimiento del cultivo, el método y forma de aplicación del fertilizante y los niveles de nutriente disponible en el suelo, entre otras. Dentro de los factores que envuelven el tema fertilización en este cultivo se destacan como de mayor importancia:

- Dosis de nitrógeno, azufre y su interacción
- Momento de aplicación y refertilizaciones.
- Ubicación del fertilizante.

Existen diversos patrones de crecimiento y desarrollo del cultivo, los cuales pueden ser afectados por dichos nutrientes. Las variables que suelen ser evaluados al momento de considerar el efecto a la fertilización, suelen ser IAF, biomasa o materia seca, altura, etc. y su evolución durante el ciclo del cultivo, así como rendimiento y sus componentes, los tenores de aceite y nutrientes en los distintos componentes de la planta, etc.

2.1.1.- Patrones de Crecimiento

Existe una prolongada fase temprana de crecimiento, la cual se da a tasa relativamente bajas, abarcando cerca del 35 % de dicho período. En dicha fase se logra acumular, como máximo, el 15 % de la materia seca a cosecha (Thurling, 1974a).

Un desarrollo rápido de las hojas resulta importante para un temprano y completo uso de la radiación. A su vez, esto favorece el crecimiento radicular, reduce la evapotranspiración y sombrea malezas. Cuanto mayor cantidad de área foliar quede expuesta a la radiación solar, más materia seca podrá producirse por día; a su vez esta mayor cantidad de materia seca permitirá obtener mayores rendimientos. La tasa de crecimiento del cultivo aumenta de manera cuadrática en función del IAF, haciéndose asintótica a un máximo superior a los 200 kg MS/ha/día (Canola Council, 2003)

El índice de área foliar aumenta lentamente en un inicio, durante el período de roseta suele llegar a 1 y 2 y se hace máximo generalmente hacia mitad de floración. Sin embargo, el número de hojas desarrolladas en este período es determinante del potencial fotosintético del cultivo y por consiguiente del rendimiento(Martino *et al.*, 1999).

En estudios sobre crecimiento y desarrollo de canola, se encontró que el área foliar, número de hojas y peso seco de las hojas, alcanzaban los máximos valores dos semanas antes de la antesis, declinando después a consecuencia de la traslocación de los compuestos carbonados y nitrogenados hacia las flores y frutos (Tayo *et al.*, 1975).

Antes de que el cultivo florezca, el tallo alcanza del 30 al 60 % de la máxima longitud, siendo las mismas proporciones de la materia seca total producida, dependiendo de las condiciones de crecimiento (Canola Council, 2003). Las plantas se mantienen relativamente cortas antes de que los botones florales se vuelvan visibles, luego de lo cual comienza un rápido incremento en la altura de la planta. Dicho incremento continúa por aproximadamente 20 días, tomando mayor importancia cuantitativa en la inflorescencia terminal, cuya longitud al momento de cosecha es más de la mitad de la altura total de la planta (Tayo *et al.*, 1975).

El número de hojas iniciadas antes de la diferenciación de los meristemas es el factor de mayor influencia en el área foliar y por consiguiente en el potencial fotosintético del cultivo, el cual es alcanzado cuando todas las hojas del tallo principal se encuentran expandidas, generalmente próximo a la floración (Mendham *et al.*, 1995; Tayo *et al.*, 1975). En este período, las hojas superiores son la mayor fuente de alimento para el crecimiento de tallos y brotes (Canola Council, 2003).

A la floración, aproximadamente el 60 % de la materia seca aérea se encuentra en las hojas, y el restante 40 % en el tallo. Durante el llenado de silicuas, grandes cantidades de materia seca puede ser movilizadas desde las hojas, tallos y paredes de silicuas para ser usadas en el llenado de granos. Las silicuas verdes y los tallos se vuelven fotosintéticamente activos, siendo menos eficientes que las hojas, dada la menor densidad de estomas existentes (Walton *et al.*, 1999).

Un rápido desarrollo y crecimiento del área foliar, bien mantenido luego de la floración, influencia fuertemente en el crecimiento de las silicuas y en el crecimiento temprano de las semillas en el tallo principal y algunas pocas ramas secundarias. Durante este período el IAF continúa incrementándose lentamente debido a la elongación y el desarrollo de brácteas en los racimos (Canola Council, 2003). Un elevado IAF a floración puede ser obtenido tanto por una rápida expansión foliar como por un largo período entre siembra y floración. Este último podría lograrse a través de una siembra temprana como del uso de cultivares de floración tardía.

El tamaño de las hojas disminuye con el aumento en altura. La penetración de la luz dentro de la canopia durante la extensión del tallo es buena y una gran superficie de tejido fotosintéticamente activo (hoja y tallo) se encuentra expuesta a la radiación solar (Daniels *et al.*, 1986).

Cuando la mitad de las flores se han abierto, se logra el mayor IAF, siendo de un valor de cuatro en *B. napus* (Mendham *et al.*, 1995). Un índice de área foliar de cuatro es requerido para que la canopia intercepte cerca del 90 % de la radiación solar incidente (Walton *et al.*, 1999). La raíz completa su desarrollo en las ultimas etapas de la floración. El desarrollo de la raíz puede alcanzar hasta un metro de profundidad, pero encontrándose más de la mitad de la superficie radicular en los primeros 20 cm del suelo (Gómez *et al.*, 1983; Martino *et al.*, 1999).

El crecimiento post-antesis se caracteriza por un incremento continuado del peso seco total, en detrimento del área foliar. Los tallos, silicuas y, en menor grado las raíces, contribuyen con este incremento por aproximadamente 35 días post-antesis, pero luego sólo las silicuas son el único órgano capaz de contribuir a su desarrollo (Tayo *et al.*, 1975).

Al comienzo de la floración ya ha sido fijado el potencial de rendimiento, dependiendo del balance entre el área fotosintética lograda y el número de flores, silicuas y semillas. Debido a lo anterior, la pérdida de área foliar trae pérdidas importantes en el rendimiento, debido a que el 70 % de los fotosintatos utilizados en este período son aportados por las hojas, proviniendo el remanente de los tallos (Mendham *et al.*, 1995). A la floración completa, la canopia de flores puede interceptar o reflejar más del 60 % de la radiación incidente, causando potenciales pérdidas de fotosintatos para el temprano desarrollo de las silicuas inferiores a las mismas (Walton *et al.*, 1999).

Cuando el rápido crecimiento de las silicuas está comenzando, tanto en peso seco como la extensión del tallo y ramas se encuentran cerca del máximo, a la vez que el área foliar comienza a disminuir rápidamente (Mendham *et al.*, 1995).

Durante este estado, el tallo y la pared de las silicuas son la mayor fuente de asimilados para el crecimiento ya que la superficie de las silicuas comienza fuertemente a incrementarse (Canola Council, 2003). En este período, el peso seco de la planta aumenta enormemente como consecuencia del crecimiento de las silicuas, en contraposición con la rápida disminución del área foliar, siendo la silicua el órgano fotosintético más importante (Allen *et al.*, 1971 citado por Tayo *et al.*, 1975)

2.1.2.- Nitrógeno

El nitrógeno es un macronutriente esencial, constituyente de los principales compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila (Perdomo *et al.*, 1999). Probablemente es, con la fecha de siembra, el factor que afecta más profundamente el rendimiento. Los requerimientos pueden ser excedidos únicamente por los de potasio (Almond *et al.*, 1986).

Los incrementos en el suministro de nitrógeno incrementan la formación de proteína y por lo tanto el crecimiento en general, así como de los tallos superiores y silicuas, productores de asimilados para la producción de semillas. Sin embargo, una excesiva asimilación de nitrógeno puede resultar en una elevada producción de proteína que cause una disminución en el contenido de aceite (Almond *et al.*, 1986).

2.1.2.1.- Efecto de la Fertilización Nitrogenada

La canola responde fuertemente en suelos deficientes de dicho nutriente. Si bien puede responder hasta aplicaciones de 270 kg de N/ha, en muchos ensayos la dosis económicamente óptima fue de 134 kg/ha (Canola Council, 2003).

Según Jackson (2000), la relación lineal entre el rendimiento total en planta y el nitrógeno, refleja la tendencia a exhibir un hábito de crecimiento indeterminado cuando los nutrientes y el agua son esencialmente ilimitados.

Según Soper (1971), el cultivo responde a la aplicación de fertilizante cuando el contenido de N-NO₃ en el suelo es menor que 100 kg/ha (en 60 cm de profundidad). El cultivo requiere grandes cantidades de N para lograr el óptimo en rendimiento, respondiendo a tasas mayores a 200 kg de N/ha, cuando los niveles en el suelo son bajos. A tasas de fertilización muy elevadas, el incremento en vuelco podría reducir el rendimiento (Grant *et al.*, 1993; Hocking *et al.*, 1999).

La cantidad de semilla producida por unidad de nitrógeno aplicada resulta generalmente la mitad de la producida por el trigo, el cual alcanza el máximo rendimiento en grano a dosis más bajas de fertilización que la canola (Mason *et al.*, 1998).

Las plantas obtienen nitrógeno principalmente de tres fuentes:

- N disponible en el suelo a la siembra
- N mineralizado a partir de la materia orgánica y restos vegetales durante la estación de crecimiento
- Fertilizante nitrogenado

La materia orgánica del suelo suele ser la mayor fuente de almacenamiento. Ésta es descompuesta por microorganismos, los cuales convierten el nitrógeno orgánico en amonio (NH₄) y nitrato (NO₃⁻), formas en que pueden ser utilizadas por las plantas. Sobre esto existe gran influencia de condiciones del suelo, como temperatura, contenido de humedad y acidez. Cuando el suelo se encuentra frío, saturado en agua o excesivamente ácido, dicho proceso se da lentamente (Canola Council, 2003).

En trabajos canadienses, el rendimiento estuvo correlacionado con los niveles de nitrato en el suelo, medidos a 60 cm de profundidad, a través de una ecuación

logarítmica. La respuesta a la fertilización nitrogenada presentó una relación lineal con la suma de los niveles de N-NO₃ (ppm) presentes en los cuatro estratos comprendidos en los primeros 60 cm de suelo, a la siembra (Nuttall *et al.*, 1992).

Según Soper (1971), la correlación entre el rendimiento relativo y el nivel de nitratos en suelo aumenta con la profundidad de muestreo hasta los 60 cm, disminuyendo luego levemente. Sin embargo, las ecuaciones de regresión ajustadas para 15 y 30 cm también resultaron con una correlación significativa al 1%.

Cuadro 2. Respuesta en rendimiento según nitrógeno en suelo.

<i>Fuente</i>	<i>Regresión</i>	<i>r</i> ²	<i>Y</i> =	<i>N</i> =	<i>Profund muestreo (cm)</i>
(Nuttall <i>et al.</i> , 1992)	$Y=0591-0.0143N$	0.58	Rend f - Rend sf *	mg/4kg	60
(Nuttall <i>et al.</i> , 1992)	$Y=-0.155+0.91*\log_{10}NO_3$	0.21	Rend (tt/ha)	ppm	60
(Soper, 1971)	$Y=46.4+1.91*N$	0.66	(Rend sf/Rend f)*100	Kg/ha	15
(Soper, 1971)	$Y=54.8+0.91*N$	0.77	(Rend sf/Rend f)*100	Kg/ha	30
(Soper, 1971)	$Y=46.8+0.58*N$	0.85	(Rend sf/Rend f)*100	Kg/ha	61

*f=fertilizado con N

sf=sin fertilizar

Aún así, la cantidad de nitrógeno disponible almacenado en el suelo al momento de siembra, tendría la mayor influencia en la cantidad de nitrógeno requerido. En este cultivo la utilización del fertilizante aplicado puede variar desde 20 a 90 %. La cantidad del N utilizado depende tanto de la disponibilidad de éste en el suelo como de las pérdidas del mismo. Varios factores afectan la respuesta a la fertilización, tales como una humedad limitada, pérdidas de nitrógeno por lavado, denitrificación, volatilización, pobre consumo del cultivo, competencia por malezas, desbalance de nutrientes, vuelco y por una aplicación inapropiada (Canola Council, 2003).

La historia de cultivos puede influenciar la disponibilidad de N en el suelo. Según Holmes y Ainsley (1971), la respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada es mayor cuando se siembra luego de dos o más cultivos cerealeros (Grant *et al.*, 1993).

Cuando se siembra luego de un cereal de 3 tt/ha o más, sería necesaria la aplicación de 75-100 kg N/ha para lograr un cultivo de 2 a 3 tt/ha de rendimiento. La tasa de fertilización para el sudeste de Australia, según cultivo previo, ha sido ajustada en un rango de 0 a 40 kg N/ha cuando anteriormente ha habido una pastura leguminosa,

de 50 a 100 kg N/ha cuando se viene de cultivos en rotación en una zona de alta precipitación (>500mm) y de 25 a 50 en las de baja precipitación, y cuando se trata de situaciones de cultivos continuos bajo riego se recomienda entre 50 y 120 kg N/ha (Hocking *et al.*, 1999).

Existe una gran diversidad de trabajos citando las dosis óptimas de nitrógeno para el cultivo, existiendo una gran variación, desde 120 hasta 250 kg N/ha para cultivos invernales. Dichas dosis suelen ser muy similares para los cultivares primaverales, aunque generalmente menores consecuencia de un menor requerimiento de nitrógeno (Almond *et al.*, 1986).

La respuesta al agregado de nitrógeno puede ser limitada por la disponibilidad de azufre y la interacción S-N, en términos de contenido de proteína cruda en especies primaverales (Almond *et al.*, 1986). Este tema será abordado en profundidad más adelante.

La aplicación de fertilizante nitrogenado generalmente incrementa el contenido de proteína cruda de la planta y/o granos, aunque no siempre es predecible (Almond *et al.*, 1986).

Por el contrario, el contenido de aceite es generalmente adversamente afectado por el aporte de nitrógeno. Pero dado el importante y positivo efecto del nitrógeno en el rendimiento de grano, el rendimiento en aceite es usualmente incrementado por el nitrógeno a un máximo, luego de lo cual disminuye (Almond *et al.*, 1986; Mason *et al.*, 1998).

El contenido de aceite de las semillas disminuye con el incremento de suministro de nitrógeno, pero esa diferencia puede ser sólo significativa cuando la semilla aún no ha madurado. Los efectos de nitrógeno en el rendimiento de aceite son por lo tanto similares a los existentes sobre el rendimiento en grano (Sarandón *et al.*, 1996). Según Jackson (2000), el óptimo rendimiento en aceite se obtiene para un mismo rango de N que para el de rendimiento en semilla, el cual ronda en los 180 a 220 kg N/ha.

Debido a la disminución en el contenido de aceite, la aplicación de N tiene un efecto menor en el rendimiento de aceite que en grano. Sin embargo, esa diferencia no es de gran magnitud según Holmes *et al* (1977), quienes, para aplicaciones de 70+70 kg de N obtuvieron incrementos de 47 % y 44 % para rendimiento en grano y aceite, respectivamente.

Cuadro 3 . Estimación de la reducción en el % de aceite en varios cultivos según autores (adaptado de Almond *et al.*, 1986).

<i>Autor</i>	<i>Fuente</i>	<i>Año</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Pérdida de aceite (%) por kg N/ha</i>
Adamczewski & Musnicki	<i>Indian Oilseeds J. 9</i>	1967	Colza invernol	0.027
Helps	<i>Experimental Husbandry 20</i>	1970	Colza primaveral	0.01
Scott <i>et al.</i>	<i>J.of Agric.Sci., Cambridge 81</i>	1973	Colza Primavera	0.07
Benvenuti, Lotti & Vincenti	<i>Procceeding of the 4th Intern.Rapseed Congress, Giessen</i>	1974	Colza invernol	0.03
Krogmann & Ainsley	<i>Can. J. Plant Sci. 55</i>	1975	Nabo primaveral	0.017
Holmes & Ainsley	<i>J. Sci. Food and Agric.28</i>	1977	Colza primaveral	0.004
Mazur, Ciecko & Kozlowski	<i>Zeszyty Naukowe-Akademii Rolniczo Tech.Olsztynie 19</i>	1977	Colza prim. e invernol	0.004
Singh & Yadava	<i>Indian J. Agric.Sci. 42</i>	1972	<i>B.rapa</i> var. <i>Toria</i>	0.008
Dhindsa <i>et al.</i>	<i>Indian J. Agric. Res. 7</i>	1973	<i>B.rapa</i> var. <i>Toria</i>	0.003

Si bien es razonable que exista una correlación negativa entre el contenido de aceite y el de proteína cruda, esto ocurrirá probablemente sólo cuando otros factores no sean limitantes para el crecimiento del cultivo. Es asumido que bajo esas condiciones, la suma del porcentaje de aceite y proteína cruda en la materia seca de la semilla debe de ser constante y aproximadamente 65 (Almond *et al.*, 1986). Según Brennan *et al.*, 2002, dicha suma es aproximadamente constante en 62 %. El valor particular depende de la especie y el ambiente en el cual crece.

Mason *et al* (1998) establecieron una ecuación que relaciona ambos parámetros, donde el porcentaje de aceite disminuirá cerca del 85% de lo que aumente la proteína (aceite%=57.683-0.8474*proteína%).

La fertilización puede llevar a demoras en la madurez de los granos, lo que podría traer aparejado un incremento en el número de granos verdes y en la cantidad de clorofila en el aceite. Esto produce un color indeseable y mal sabor del aceite, reduciendo las posibilidades de mercado (Grant *et al.*, 1993).

La respuesta a nitrógeno también se da en la calidad del aceite. El nitrógeno reduce el porcentaje de ácido oleico e incrementa el de linolénico, linoleico y erúico (Appelqvist, 1968 citado por (Almond *et al.*, 1986)). Sin embargo, otros estudios hechos por Marquard y Gendy (1989) determinaron que la fertilización nitrogenada no afecta la composición de ácidos grasos del aceite (Grant *et al.*, 1993).

El agregado de nitrógeno puede afectar negativamente la población de plantas, aunque levemente significativa sólo al fin de la estación de crecimiento (Sarandón *et al.*, 1996). En trabajos de Sarandón, *et al.* (1996), no se observaron diferencias significativas frente al agregado de nitrógeno entre 0 y 150 kg N/ha, donde la población promedio fue de 150+9 plantas/m². No se han establecido efectos significativos de la fertilización nitrogenada sobre la densidad de plantas al inicio del ciclo del cultivo (Brennan *et al.*, 2000; Mason *et al.*, 1998).

La adición de nitrógeno puede incrementar el uso eficiente de agua, al permitir cubrir el suelo más rápidamente y desarrollar una densa canopia que reduzca la evaporación. Sin embargo, dado que el N promueve el desarrollo vegetativo, existe el riesgo de que el cultivo sufra estrés hídrico durante el llenado de granos, si las reservas de humedad del suelo han mermado (Hocking *et al.*, 1999).

El efecto general del nitrógeno es lograr un crecimiento y desarrollo más vigoroso que se refleja en un incremento de la longitud del tallo, números de racimos florales, peso total de la planta, IAF, el número y peso de silicuas y semillas. Igualmente, las diferencias entre tratamientos de nitrógeno, para diversas variables, varían claramente según el estado de desarrollo alcanzado por el cultivo (Sarandón *et al.*, 1996).

El nitrógeno aplicado influye sobre la cantidad de proteína, protoplasma y clorofila formada y, por consiguiente, en el tamaño celular y área foliar, que influirán sobre la actividad fotosintética. Adecuados niveles de nitrógeno promueven un crecimiento vigoroso de las plantas, con una mayor área foliar, la cual es sostenida por más tiempo (Canola Council, 2003).

El incremento en el consumo de nitrógeno aumenta el crecimiento del cultivo y el Índice de Área Foliar (IAF) (Almond *et al.*, 1986). Se observa una gran influencia del nutriente sobre la producción de materia seca, que puede variar ampliamente (Canola Council, 2003; Mason *et al.*, 1998).

Durante el estado de plántula (primeras cuatro semanas) existe un marcado efecto sobre las variables anteriormente mencionadas. Si bien la mayor respuesta absoluta se obtiene para los mayores valores de nitrógeno agregado, el mayor incremento relativo se obtiene frente al agregado de dosis menores (Sarandón *et al.*, 1996).

Allen y Morgan (1971), encontraron efecto del agregado de nitrógeno en el desarrollo del área foliar (IAF), durante el estado de plántula. A los 72 días pos siembra, el cultivo alcanzó los valores máximos de IAF en todos los tratamientos, pero las diferencias relativas entre los niveles de nitrógeno aplicado, permanecieron similares.

Durante el período de desarrollo de los botones florales y apertura de las flores, existió una elevada diferencia en el IAF para los tratamientos con 210 kg N/ha. Las mayores diferencias morfológicas entre plantas, para los distintos tratamientos nitrogenados, fueron encontradas para altura, área foliar y para el desarrollo de ramas florales, donde los mayores resultados fueron obtenidos para los tratamientos fertilizados (Sarandón *et al.*, 1996).

La fertilización nitrogenada provoca un aumento significativo en la biomasa aérea total y en la materia seca en el tallo y hoja, en el estado D1 de CETIOM, no viéndose afectada la partición entre los órganos. La misma presentó valores del 51% en hoja y 49 % en tallo, sin observarse diferencias significativas para diferentes niveles de nitrógeno (Sarandón *et al.*, 1996).

Las ramificaciones axilares se dan mayormente en las hojas más jóvenes y superiores, las cuales se encuentran adecuadamente posicionadas como para interceptar la radiación incidente que le permita tener una elevada producción de materia seca. Un gran desarrollo de las ramas, donde el nitrógeno fue aplicado, puede ser importante en disminuir la TAN, debido principalmente a que las inflorescencias pueden sombrear las hojas y por consiguiente disminuir la actividad fotosintética. En segundo lugar, la TAN puede verse afectada por las elevadas tasas de respiración que pueden presentar las inflorescencias. Puede verse también afectada la tasa de senescencia, ya que el agregado de nitrógeno puede disminuir la longevidad de las hojas (Sarandón *et al.*, 1996).

A pesar de la disminución de la TAN, la TCC fue mayor para las parcelas que recibieron nitrógeno, debido a la mayor área foliar (IAF) producida (Sarandón *et al.*, 1996).

Durante la formación de silicuas el IAF alcanza los niveles más bajos. Sin embargo hay un marcado incremento en la TCC en todos los tratamientos, que alcanza valores mayores que cuando el IAF se encontraba en el máximo. Esto es debido fundamentalmente a la formación de tejido fotosintéticamente activo, como las silicuas, pudiéndose vincular las diferencias en TCC entre los tratamientos, al peso de las silicuas (Sarandón *et al.*, 1996).

La aplicación de nitrógeno llevó a desarrollar más silicuas por planta y semillas por silicua, pero las diferencias en el peso promedio de las silicuas individuales no fue significativo (Sarandón *et al.*, 1996).

En trabajos realizados en La Plata, Argentina, la fertilización aumentó el peso de todos los órganos al estado G1, siendo estadísticamente diferentes el peso de las fracciones hoja e inflorescencias. La partición de la materia seca en dicho estadio fenológico fue del 74 % para el tallo, 13% para las inflorescencias y el restante 13% para las hojas, no existiendo grandes variaciones entre los distintos tratamientos de nitrógeno (Sarandón *et al.*, 1996).

Al igual que la partición de materia seca en dicho estadio, la variación en materia seca de los diferentes órganos entre los estadios D1 a G1, tampoco se vio afectada por la fertilización nitrogenada. Se observó entre ambos estadios, en promedio, un aumento de la biomasa aérea total del 89 %, una disminución del peso seco de las hojas del 53 % y un aumento del tallo del 194 %, sin que los tratamientos modificaran mayormente dichos valores (Sarandón *et al.*, 1996).

Existen varios estudios que indican que el nitrógeno demora tanto la floración como la maduración en canola. Podría sostenerse que la fertilización en la cama de siembra, principalmente con materiales solubles como el sulfato de amonio, reduce la emergencia de las plántulas si se ubican cerca de las semillas (Almond *et al.*, 1986).

Como el cultivo tiene crecimiento indeterminado, la movilización del nitrógeno para el desarrollo de la canopia puede continuar luego de floración. Cuando ésta termina, dicho nutriente es acumulado principalmente en la semilla. Esto determina que puede existir efecto de la fertilización al inicio del desarrollo reproductivo, aunque sin dejar de lado la dificultad que puede llegar a presentar el manejo del nitrógeno alrededor de la floración, dado que el suelo comienza a secarse y por consiguiente se depende de la lluvia o el riego (Pouzet *et al.*, 1995).

Según Dawkins (1985), si bien no existen diferencias muy marcadas sobre el n° de flores en el momento de inicio de la floración para distintos tratamientos nitrogenados (100, 250 y 350 kgN/ha), si existe para el último período de la misma. A su vez, también se desprende que para las mayores dosis se obtuvieron las mayores cantidades de flores y silicuas fértiles formadas. Sin embargo, no existieron diferencias para la proporción de abortos ocurridos. De este trabajo se concluye que el mayor efecto del nitrógeno en incrementar los rendimientos es por el número de silicuas a cosecha, cuando al menos es mantenido el número de semillas por silicuas y el tamaño de las semillas; donde el incremento del IAF puede o no llegar a ser importante (Almond *et al.*, 1986).

Es probable que bajo elevados niveles de nitrógeno se formen silicuas en exceso, las cuales se sombrean entre sí, dentro del cultivo, impidiendo que el máximo potencial sea logrado. A la vez, si las silicuas no absinden, otros factores pueden aparecer reduciendo el rendimiento, o el cultivo puede no proveer suficientes asimilados para completar el llenado de granos, especialmente cuando el máximo IAF ocurre cerca del

50% de floración, luego de lo cual disminuye rápidamente. Por lo tanto niveles de nitrógeno muy altos pueden ser inapropiados (Almond *et al.*, 1986).

El número de silicuas/m², uno de los principales componentes de rendimiento, se encuentra correlacionado con la producción de biomasa tanto en el estado D1 como en G1 ($r^2=0.332$ y $r^2=0.421$ respectivamente). Estos datos confirman que la fracción del potencial de rendimiento dada por las silicuas es definida en las etapas tempranas de desarrollo del cultivo.

El número de silicuas a cosecha es incrementada por la fertilización nitrogenada. Respecto al número de semillas por silicua, no se encontró efectos significativos, en promedio, de la fertilización nitrogenada en muchos casos (Allen y Morgan (1972) citado por Almond *et al.*, 1986); aunque en trabajos de Vullioud (1974), dicho número se vio incrementado por el efecto de la fertilización nitrogenada (Almond *et al.*, 1986). El tamaño de las semillas puede ser incrementado por dicho efecto (Almond *et al.*, 1986).

Según Sarandón *et al.* (1996), la fertilización aumenta el número de silicuas/planta, silicuas/m² y semillas/m², sin embargo no afectó significativamente el número de semillas por silicua. El componente que se encuentra más correlacionado con el rendimiento es el número de semillas/m² ($r^2=0.943$). Esta variable se constituyó, principalmente, a través del aumento del número de silicuas/m² ($r^2=0.697$) y no por un mayor número de semillas/silicua ($r^2=0.457$), coincidiendo con trabajos realizados por Taylor *et al.*, 1991 y Tamagno *et al.*, 1995 (citados por Sarandón *et al.*, 1996).

Según Tamagno *et al.*, (1995) el peso de las semillas no es afectado por la fertilización. Este componente de rendimiento se encuentra muy poco afectado por la disponibilidad de nitrógeno, incluso en etapas cercanas a la floración. A su vez, los resultados encontrados por Kullmann *et al.*, (1990) determinan que una mayor disponibilidad de N afecta en mayor medida a los componentes definidos en etapas anteriores del cultivo, aumentando el número de granos y no el peso de los mismos (citados por Sarandón *et al.*, 1996).

La fertilización nitrogenada aumenta significativamente el rendimiento en grano. En ensayos donde no se realizó fertilización se obtuvieron rendimientos de 920 kg/ha, contra 2120 kg/ha para tratamientos con 150 kg N/ha agregados. La biomasa aérea total varió entre 4480 y 8600 kg/ha, respectivamente. Esto determinó que ambas, rendimiento y biomasa a madurez, estuvieran estrechamente correlacionadas ($r^2=0.852$), siendo menor con producciones anteriores de biomasa (D1: $r^2=0.376$; G1: $r^2=0.335$) (Sarandón *et al.*, 1996).

En lo que respecta a la distribución de la materia seca y el índice de cosecha en la madurez del cultivo, éstas no tuvieron grandes variaciones, para los distintos

tratamientos nitrogenados a la siembra. En promedio se distribuyó en un 45 % en tallos, 33 % en estructuras reproductivas, dentro de las cuales se consideran a las ramificaciones desde la base, el tallo principal por encima de la inserción de la primera silicua basal y el resto de los frutos. El restante 22 % lo constituyen las semillas que forman el índice de cosecha. Las hojas no constituyen una fracción de la biomasa dado que el cultivo llega sin las mismas a la madurez. De índices de cosecha levemente superiores a 20 %, sin agregado de N, se llegó a valores próximos a 25% con la adición de 150 unidades de N. (Sarandón *et al.*, 1996).

Según Sarandón *et al.* (1996), la fertilización con N no modificó significativamente, en ninguno de los momentos evaluados, la partición de materia seca entre órganos. Similares resultados fueron encontrados en los trabajos de Taylor *et al.*, 1991; Chamorro *et al.*, 1995; Tamagno *et al.*, 1995, pero contrastando, con los trabajos realizados por el mismo autor en 1993 y de Triboi-Blondel *et al.*, 1988 (citado por Sarandón *et al.*, 1996).

En años con buena disponibilidad hídrica, la aplicación de bajas dosis de N en la siembra podría estimular el crecimiento vegetativo en etapas tempranas del desarrollo del cultivo, promoviendo la formación de un excesivo número potencial de semillas y disminuyendo el IC. Bajo deficiencia hídrica esto no ocurriría, por lo que el nitrógeno quedaría disponible para estados más avanzados que permitan definir algunos componentes de rendimiento (Sarandón *et al.*, 1996). Por consiguiente, la respuesta al agregado de nitrógeno en la distribución de la materia seca, está influenciada por las condiciones hídricas y de crecimiento del cultivo.

La eficiencia de uso del agua puede verse aumentada con la fertilización nitrogenada, especialmente si existe una elevada disponibilidad de fósforo en el suelo y no se observa déficit hídrico desde floración (Sarandón *et al.*, 1996).

Si bien generalmente el rendimiento en grano incrementa con el agregado de nitrógeno, la tasa de incremento del mismo es decreciente en función de la dosis, como ha sido comprobado para otros cultivos, como el trigo. En experimentos realizados en Australia, esta medida de eficiencia agronómica resultó mayor para el trigo que para canola, disminuyendo el valor en ambos al aumentar la dosis de N (Mason *et al.*, 1998).

2.1.2.2.- Requerimientos

El cultivo de canola se caracteriza por sus elevados requerimientos en nutrientes. En promedio, un cultivo que rinda 1960 kg/ha de semilla, puede contener 118 kg/ha de nitrógeno solamente en la parte aérea, los cuales se encuentran distribuidos un 37 % en paja y el restante 63 % en semilla. Para tener referencia, un trigo de 2690 kg/ha de grano acumula 95 kg N/ha en la parte aérea y una cebada de 3226 kg/ha de rendimiento acumula 101 kg N/ha (Canola Council, 2003).

La relación de materia seca semilla:paja puede variar ampliamente, pero oscilando en promedio en una relación 1:3, por lo que un cultivo de 1960 kg/ha de grano, proporcionará un rastrojo en superficie de poco menos de 6000 kg/ha de MS, que devolverá 44 kg de nitrógeno al sistema (Canola Council, 2003).

Según otros trabajos, las especies primaverales acumulan entre 50 y 60 kg de nitrógeno por cada tonelada de grano producida, mientras que las invernales rondan los 70 kg de N/tt. Esto implica que para producir 3 tt/ha de grano, se necesitan de 150 a 210 kg de N (Pouzet *et al.*, 1995). Según Jackson (2000) se requieren cerca de 0.07 a 0.08 kg de N por cada kg de grano.

Cerca del 50 % del nitrógeno mineral proveniente de fertilizantes es utilizado por el cultivo. La traslocación de N a las semillas surge, promedialmente, 66 % de las hojas, 53 % de las silicuas, 27 % del tallo y 17 % de las raíces. La cantidad de N traslocado entre las distintas partes de la planta disminuyen a medida que la disponibilidad aumenta (Pouzet *et al.*, 1995) .

El nitrógeno incrementa la acumulación de todos los nutrientes, en la planta entera de manera lineal, y en la semilla en forma cuadrática. El nitrógeno acumulado en toda la planta proviene del 70 % del N-NO₃ disponible, tanto de los primeros 90 cm del suelo como del fertilizante (Jackson, 2000).

2.1.2.3.- Síntomas de deficiencia

Cuando los niveles de nitrógeno son adecuados, las plantas presentan una coloración verde intensa; bajo deficiencia, el primer síntoma en aparecer es una coloración verde clara tanto en hojas como en los tallos más viejos. El nitrógeno de las hojas viejas es redistribuido a hojas jóvenes para mantener el crecimiento. Las hojas viejas muestran primero un amarillamiento característico de deficiencia, pudiéndose encontrar en otras hojas una decoloración púrpura, para luego volverse necróticas (Martino *et al.*, 1999; Canola Council, 2003).

El crecimiento de las plantas es pobre, produciendo tallos principales cortos y flacos, con muy pocas ramas y restos de canopeo delgado y abierto, el cual senesce precozmente (Almond *et al.*, 1986). La floración tiene lugar por un corto período de tiempo, dándose más tempranamente; las plantas forman un bajo número de silicuas, lo que arroja rendimientos bajos (Canola Council, 2003; Martino *et al.*, 1999; Pouzet *et al.*, 1995).

2.1.2.4.- Nitrógeno en Planta

Rollier, 1970 (citado en Almond *et al.*, 1986), establece el momento de mayor contenido de nitrógeno en planta en el estado de roseta (3.5-4.8% de MS). A fines de este estadio el contenido cae a un rango de entre 2.2 y 2.8%. El contenido de nitrógeno en las plantas (como % de MS) es máximo en el estado de roseta, oscilando del 5 al 6 % cuando la mayor cantidad de materia seca se encuentra depositada en las hojas. Dado que el crecimiento de las plantas a partir de dicho momento incrementa, la concentración de nitrógeno comienza a disminuir, llegando a valores de 2,5-3,5 % en floración, cuando los tallos conforman gran proporción de la materia seca total (Canola Council, 2003). Cuando en este último estadio los niveles del nutriente se encuentran por debajo del 2 %, son considerados deficientes, pudiendo ser, por el contrario, excesivos a niveles mayores al 5% (Grant *et al.*, 1993).

Usualmente, cerca del final de la floración, se da el estado de máximo consumo de nitrógeno, cuando la concentración de dicho nutriente varía desde 1,2 hasta 2,2 %; niveles que reflejan la pérdida de hojas con elevado contenido del mismo. A partir de ese momento, la mayor parte del nitrógeno se encuentra acumulado en silicuas y semillas. El contenido en estas últimas es generalmente de 3,8 %, pudiendo variar de 3,4 a 4,3 %, mientras que en la paja se encuentran valores entre 0,5 y 1,8 % (con un promedio de 0,75 %), lo que refleja la transferencia de la mayor parte del nitrógeno a las semillas (Canola Council, 2003).

A elongación, el rango establecido entre 2.8 y 4.7 cae a floración a valores entre 1.5 y 2.5, terminando hacia el momento de formación de silicuas con una concentración entre 1 y 2.3%. Los niveles encontrados por Rollier (1970), a cosecha fueron de 0.9 a 2.0 % de N en planta.

La mayor cantidad de nitrógeno es acumulada en los componentes reproductivos, pero está demostrado que el movimiento de nitrógeno dentro de la planta ocurre durante el período de crecimiento. Este mineral es acumulado en las hojas para ser retranslocado posteriormente en estructuras más permanentes a medida que pasa el tiempo. Aproximadamente 50 kg/ha son acumulados por las raíces en especies de tipo invernial (Almond *et al.*, 1986).

La remoción del nitrógeno por las semillas varía considerablemente. Las especies de tipo invernial generalmente presentan un contenido menor que las primaverales. En las primeras, la cantidad de nitrógeno removido varía desde 68 hasta 134 kg N/ha, teniendo el rendimiento primordial influencia. En general existe una correlación lineal entre rendimiento en grano y nitrógeno removido (Almond *et al.*, 1986).

La fertilización nitrogenada también afecta el contenido de dicho nutriente en la planta. La mayor concentración es alcanzada para las mayores dosis de N, en distintos estados ontológicos (Chamorro *et al.*, 2002).

La concentración de N en todos los órganos, excepto las semillas, disminuye durante el crecimiento del cultivo a consecuencia del efecto de dilución ocasionado por una mayor tasa de acumulación de materia seca que de nitrógeno. Bajos severos déficits de N, la aplicación de bajos niveles de N incrementa la acumulación de materia seca más que la de N, por lo que disminuye la concentración de N consecuencia del “efecto de dilución” (Chamorro *et al.*, 2002).

La fuente de nitrógeno disponible para el llenado de granos varía acorde a la disponibilidad de N. A elevadas tasas de N, el nutriente en la semilla puede provenir de partes de la planta como tallos, hojas, así como directamente ser absorbido del suelo. Por el contrario, a bajas dosis, es posible que las fuentes sean las partes vegetales de la planta y no el suelo, por los bajos niveles de N en el suelo. Esto determina que la capacidad de remover el nitrógeno a los órganos reproductivos sea mayor en bajos niveles de N disponible (Chamorro *et al.*, 2002).

Al estado G1 se da la mayor acumulación de N en el cultivo, disminuyendo un 11% a la madurez. En las hojas la mayor acumulación de N fue registrada al estado D1, mientras que en tallo a G1. En este último órgano, el contenido del nutriente disminuye a la madurez entre 58 y 75 %, consecuencia de la movilización de N (Chamorro *et al.*, 2002).

El nivel de nitratos en el tejido vivo ha demostrado ser un buen indicador del nivel de disponibilidad de nitrógeno que hubo en el suelo. La concentración en las distintas partes de la planta varía según el estado fenológico del cultivo, dada la movilidad del nutriente dentro de la planta. Los mayores niveles se encuentran en las hojas al comienzo de la floración, concentrándose luego en los tallos, una vez finalizada la floración (Martino *et al.*, 1999).

Dada la variabilidad en la concentración de este nutriente en toda la planta, ésta puede ser medida en el pecíolo de la hoja madura más joven. En ensayos australianos se determinó que concentraciones menores de 1,72 mg/g en pecíolo en el estado de roseta y de 0.53 mg/g en prefloración, estarían asociadas a mermas en el rendimiento (Hocking y Barrow, 1993, citado por Ponce de León *et al.*, 1999). A su vez, en ensayos argentinos, se establecieron valores críticos de 1.62 mg/g en estado de roseta con 4 a 5 hojas y de 0.14 mg/g en comienzo de floración (Sarandón *et al.* citado por Ponce de León *et al.*, 1999).

2.1.2.5.- Momento de aplicación

Si bien las evidencias sobre el momento en que debe realizarse la aplicación de fertilizante nitrogenado no son claras, las diferencias que existan pueden ser explicadas por el sitio en particular en que fue evaluado, clima, cultivos anteriores, etc. Sin embargo, en trabajos de Holmes y Ainsley (1977) se encontraron pequeñas ventajas de la aplicación fraccionada, 50% a la siembra y el 50% restante más tarde, frente a una única fertilización. Estas evidencias son más fuertes para las variedades de tipo primaveral que para las invernales (Almond *et al.*, 1986).

Si bien el fraccionamiento de la fertilización nunca mostró resultados negativos, pudiendo tener efecto positivo en algunos años, tanto las condiciones del año como el tipo de suelo influyen los resultados, como ya fue dicho anteriormente. Cuando las condiciones son favorables para el lavado, suelos livianos y fuertes lluvias, el fraccionamiento de la fertilización suele ser preferible. Si bien puede llevar a reducir el lavado de nitratos, el costo puede llegar a ser mayor que el beneficio en rendimientos (Kimber y Mc Gregor citados por Pouzet *et al.*, 1995).

Cuando se aplican elevadas dosis de N no se encuentran diferencias entre los momentos de aplicación. Según Taylor *et al.* (1991) la aplicación fraccionada a siembra y roseta no fue más efectiva que todo a la siembra (Grant *et al.*, 1993).

El que no se encuentren mayores diferencias entre las respuestas en los distintos momentos de aplicación puede deberse a la elasticidad que presenta el cultivo, consecuencia del crecimiento indeterminado, la movilidad del nutriente dentro de la planta y la capacidad de compensación entre los distintos componentes del rendimiento, permitiendo así una demanda uniforme y constante de N a lo largo de su ciclo (Martino *et al.*, 1999).

Según Holmes *et al.* (1977), en promedio el rendimiento es levemente mayor cuando se aplica el nitrógeno mitad a la siembra y mitad en el ciclo del cultivo, frente a la aplicación única a la siembra. Si bien estas diferencias no son grandes, pueden ser explicadas como consecuencia de que altas tasas de N a la siembra favorecen el crecimiento vegetativo a expensas del reproductivo, o a que el N a la siembra puede ser lavado antes de ser tomado por las plantas.

En trabajos realizados en La Plata, Argentina, se observó bajos valores de nitrógeno aparentemente recuperado, lo que sugiere la necesidad de trabajar en prácticas alternativas de fertilización como aplicaciones tardías, fraccionadas o uso de fertilizantes de liberación lenta que reduzcan el riesgo ambiental y aumenten el nitrógeno recuperado (Chamorro *et al.*, 2002).

Si bien existen períodos críticos para la disponibilidad de N, éstos no son tan definidos y concentrados como en otros cultivos como el trigo. Durante la elongación, si bien los requerimientos del cultivo aumentan notoriamente debido a la magnitud del crecimiento, las necesidades de aporte exógeno no aumentan marcadamente. Esto ocurre dada la coincidencia de esta etapa del cultivo con el aumento de aporte de N por el suelo, debido a un incremento de la tasa de mineralización, consecuencia del aumento de la temperatura (Martino *et al.*, 1999).

En trabajos argentinos se han ensayado los momentos de fertilización a siembra, roseta y floración, siendo la aplicación en estado de roseta la que permitió obtener los mayores rendimientos. La fertilización a floración en cambio, no fue tan eficiente, debido a que en dicho momento los componentes del rendimiento están, en su mayoría, definidos (Gómez *et al.*, 2000).

2.1.2.5.1.- Fertilización basal

Si bien en el cultivo de canola la fertilización cercana a la siembra y a la zona radicular sería lo óptimo, la extrema sensibilidad de la semilla al nitrógeno impediría que este nutriente sea ubicado junto a la misma, especialmente cuando la humedad a la siembra es baja. Si bien el daño que cause es influenciado por la cantidad de N aplicado, el tipo de suelo, la humedad del mismo y la temperatura, ocasionará disminuciones en la germinación y emergencia, población y finalmente rendimiento (Canola Council, 2003).

Sin embargo, aplicaciones a la siembra pueden ser más efectivas que en la formación del botón floral, en sitios de media a baja fertilidad (Pouzet *et al.*, 1995).

Se recomienda que la cantidad que sea ubicada de este nutriente junto a la semilla no exceda los 11kg de N/ha, cuando se utilizan binarios. En el caso de fertilizantes a base de urea, no deberían incorporarse junto a la semilla por ser más dañinos a la emergencia debido a la toxicidad del amonio (Canola Council, 2003). Para prevenir dichos daños a la germinación y emergencia, es aconsejable la aplicación en bandas, ubicado al costado de la semilla, manteniendo los cuidados de no aplicar altos niveles ni fertilizantes amoniacaes. La aplicación al voleo podría permitir un mejor aprovechamiento del nitrógeno (Canola Council, 2003).

Si bien la fertilización a la siembra es una de las prácticas más comúnmente realizada, bajo ciertas condiciones, tanto en cantidades insuficientes como en exceso, puede traducirse en una menor eficiencia en la partición de materia seca hacia la semilla (índice de cosecha) teniendo un bajo efecto en el rendimiento (Sarandón *et al.*, 1993 citado por Sarandón *et al.*, 1996).

Si bien el rendimiento potencial se encuentra asociado a la acumulación de materia seca que tenga lugar previo al período de antesis (Mendham *et al.*, 1981), las

condiciones posteriores a dicho período pueden limitar ese potencial. Por consiguiente, una aplicación de nitrógeno a la siembra que promueva el desarrollo vegetativo en los primeros estadios del cultivo, puede generar un elevado potencial de producción de semillas, como se dijo anteriormente. Esto podría determinar que bajo dosis de N insuficientes, se agote dicho nutriente del suelo, promoviendo una disminución en la eficiencia de partición de la materia seca, arrojando bajos índices de cosecha (Sarandón *et al.*, 1996).

Por el contrario, elevadas dosis basales podrían proveer de suficiente nitrógeno al cultivo, durante todo su ciclo, que evite una ineficiente distribución de la materia seca (Sarandón *et al.*, 1996).

2.1.2.5.2.- Fraccionamiento

Las aplicaciones fraccionadas de nitrógeno son usualmente realizadas cuando la dosis debe de ser ajustada acorde a las condiciones estacionales o donde los rendimientos potenciales son elevados. Cuando el cultivo es sembrado en zonas de elevada pluviosidad o bajo riego, donde existe un elevado riesgo de lavado si todo el N es aplicado a siembra, se hace necesario el fraccionamiento. En Australia, la segunda aplicación es realizada usualmente en el estado de botón floral visible (Hocking *et al.*, 1999), lo que compone los estadios D2 a E de CETIOM.

Las fertilizaciones tardías han incrementado la eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno (kg MS/kg N). Demoras en la aplicación del nitrógeno hasta el comienzo de la elongación de tallos, donde se da un elevado consumo de N, podrían disminuir las posibilidades de lavado de nitratos (Chamorro *et al.*, 2002).

En ensayos realizados en Argentina, la fertilización sólo provocó aumentos significativos en rendimiento y biomasa cuando la misma se realizó en forma fraccionada. A su vez, la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) se vio favorecida por el fraccionamiento de la fertilización. Ésta medida de incremento en rendimiento por unidad de nitrógeno agregada alcanzó valores de 5.63 kg grano/kg N, cuando se fertilizó con 90 kg de N/ha a la siembra. Cuando la misma dosis fue fraccionada a siembra y al estado C2, la EUN ascendió a 11.35, llegando a 13.11 cuando el fraccionamiento se realizó en tres momentos (siembra, C2 y F1). Ésta baja eficiencia para fertilizaciones a siembra sugiere una baja capacidad del cultivo de aprovechar la alta disponibilidad en estadios tempranos (Tamagno *et al.*, 1999).

Las diferencias en rendimiento anteriormente mencionadas fueron resultado fundamentalmente de un mayor número de silicuas/m², no observándose diferencias en fraccionamiento ni en dosis para los restantes componentes de rendimiento. El efecto de la fertilización sobre el componente silicuas, confirma la sensibilidad de dicho componentes a la fertilización nitrogenada, así como la estrecha dependencia de la

nutrición carbonada del ápice y los órganos reproductivos y por lo tanto de la actividad fotosintética de las hojas. Una mayor disponibilidad nítrica permitirá atrasar la senescencia determinada por la traslocación, logrando una mayor persistencia del área foliar (Tamagno *et al.*, 1999).

El peso de mil semillas no es modificado por el fraccionamiento de la fertilización, confirmando la gran influencia genética de dicho factor. Tampoco fue afectado el número de semillas/silicuas ni el índice de cosecha (Tamagno *et al.*, 1999).

La dosis total de nitrógeno agregado por si sola no permite predecir la reducción de aceite por éste nutriente, dado que el fraccionamiento, en niveles mayores de 150 kg N/ha, puede disminuir dicho riesgo (Almond *et al.*, 1986).

En ensayos realizados en INIA L.E., Uruguay, no se encontró respuesta a la refertilización en altura de la planta. Dicha refertilización fue realizada el 20 de setiembre para una fecha de siembra de principios de junio (Díaz *et al.*, 1995). En estos ensayos se realizaron medidas indirectas del contenido de nitrógeno, a través del Índice de Clorofila, el cual evalúa la presencia de clorofila en la hoja. La respuesta a la refertilización nitrogenada fue positiva y estadísticamente significativa. Si bien existió efecto positivo de la fertilización a comienzos de encañado en el rendimiento, este no fue a través de los componentes ramas/planta, silicuas/rama ni silicuas/planta, los cuales no se diferenciaron frente a las dosis extremas de refertilización (Díaz *et al.*, 1995).

2.1.3.- Azufre

La colza, como la mayoría de las crucíferas, es un cultivo que responde a mayores cantidades de azufre que trigo y cebada. (Canola Council, 2003; Grant, 1990; Grant, 1991; Grant *et al.*, 1993; Malhi, 1999; Pouzet, 1995). El mayor contenido de proteína en la semilla de este cultivo, combinado con una mayor proporción de cisteína y metionina comparado con los cereales, contribuye a mayores requerimientos de azufre (Anderson, J.W. 1975; Clandinin, D. 1981, citados por Grant y Bailey, 1993 y Grant, 1991).

En diversos ensayos se obtuvo mayor respuesta al azufre en canola que en trigo. En una serie de experimentos llevados a cabo en Canadá y Nueva Zelanda, la aplicación de S elemental provocó un incremento de 0.46 tt/ha en trigo y 0.99 tt/ha en canola (Nuttall *et al.*, 1993).

El cultivo necesita cerca de 11.1g de azufre por cada kg de grano producido. Distintos ensayos coinciden en que una dosis de 30 kg/Ha de azufre es suficiente para el desarrollo del cultivo en suelos deficientes (Grant, 1990; Grant, 1991; Pouzet, 1995; Canola Council, 2003). En ensayos de fertilización realizados en Argentina, donde el mejor comportamiento se logró con fertilización triple (N-P-S), se observó una

absorción de 33 kg de S por parte del cultivo que obtuvo un rendimiento de 2765 kg/ha (Rubio *et al.* citado por Gómez *et al.*, 2000).

Se han determinado pérdidas de hasta 80% de rendimiento en semilla, y 20% en reducción en la concentración de aceite debido a deficiencias de azufre (Hocking *et al.*, 1999). Deficiencias medias suelen reducir el rendimiento sin mostrar síntomas aparentes, por lo que se hace imprescindible un esquema de fertilización basado en análisis de suelo y planta (Grant, 1990; Hocking *et al.*, 1999).

2.1.3.1.- Momento y formas de aplicación

La literatura coincide en referencia al momento de aplicación del nutriente. La mayor respuesta en suelos pobres se obtiene agregando el azufre a la siembra, pudiéndose encontrar respuestas a la aplicación más tardía en suelos con buena disponibilidad de azufre inicial (Nuttall *et al.*, 1991; Grant, 1991).

Existe poca información acerca del momento de aplicar el azufre. Un ensayo hecho en Canadá donde se aplicaron 25 kg/ha de azufre en diferentes momentos, 0, 14, 28 y 42 días después de la siembra, se obtuvo una reducción lineal del rendimiento de 0.11 tt/ha para un material y 0.40 tt/ha para el otro con el S aplicado 42 días después de sembrados. Estas diferencias en respuesta al momento de aplicación del azufre son el resultado de la interacción cultivar x momento de aplicación (Nuttall *et al.*, 1991).

En el mismo experimento, en otros dos sitios caracterizados como de mayor aporte de azufre, hubo un incremento en rendimiento en grano con la aplicación de azufre en el estado de roseta, obteniéndose una respuesta cuadrática positiva con relación al momento (Nuttall *et al.*, 1991).

La correlación existente entre rendimiento y S total absorbido indica que el momento de aplicación no estaría afectando la concentración de azufre en el grano. También se encontró alta correlación entre rendimiento en paja y absorción de azufre y, por lo tanto, bajo efecto del momento de aplicación (Nuttall *et al.*, 1991).

Janzen *et al.* (1984b) no encontraron diferencias en rendimiento según el momento de aplicación a bajos niveles de nitrógeno, aunque los resultados coinciden en la respuesta negativa a las aplicaciones más tardías, incluso en suelos con buena disponibilidad de azufre.

El momento de aplicación del azufre tuvo influencia sobre la cantidad de azufre absorbido por la planta para cualquier nivel de nitrógeno. La aplicación de azufre en estado de roseta, floración y especialmente botón floral, produjo el mayor consumo del fertilizante por parte de la planta además de rendimiento en azufre comparado con la aplicación a la siembra (Jansen *et al.*, 1984b).

Bauma (1972) explica el incremento en el consumo en aplicaciones tardías por el hecho de que plantas deficientes en azufre tienden a compensar esa insuficiencia mediante la absorción de grandes cantidades de este elemento, acumulando el exceso en los tejidos vegetativos (Jansen *et al.*, 1984b).

Experimentos a campo han mostrado que frente a deficiencias de azufre, el cultivo de canola responde a la fertilización hasta el inicio de la elongación del tallo, sin que se vea afectado el rendimiento en semilla o la concentración de aceite. Se han presentado situaciones de respuesta económicamente viable en aplicaciones tan tardías como a floración (Hocking *et al.*, 1999; Malhi, 1999).

Existen tres formas principales para suministrar azufre, en forma de sulfato, tiosulfato o como azufre elemental. Estas difieren, entre otras cosas, en la velocidad con que el mineral se hace disponible para las plantas. Los fertilizantes con más lenta liberación son los compuestos por azufre elemental, el cual no puede ser usado por las plantas hasta que los microorganismos no lo conviertan en sulfato. Dada su lenta conversión, se aplica hasta dos años previos a la siembra del cultivo o se utiliza para cultivos que requieren este nutriente por largos períodos de tiempo, como la alfalfa (Agriculture, Food and Rural Revitalization, 2003).

La respuesta del cultivo a la fertilización con S elemental es más lenta que cuando se usa sulfatos, debido a que no es soluble en agua y primero tiene que pasar por procesos de oxidación bacteriana. Para que el S elemental sea efectivo, debe incorporarse en el suelo con suficiente anticipación a las necesidades de cultivo. Sin embargo, si se usa apropiadamente, es una fuente de S agronómicamente efectiva y económicamente eficiente (Agropecstar, 1999).

Como fuentes de azufre con mayor capacidad de disolverse están los fertilizantes que contienen azufre como tiosulfatos. Esta forma también debe ser oxidada en el suelo a la forma sulfatada, sin embargo el proceso es mucho más rápido y se recomienda utilizar este tipo de fertilizantes antes o al momento de la siembra. Pero los que están disponibles más rápidamente para las plantas son aquellos fertilizantes basados en azufre como sulfato. Los sulfatos solubles en agua están disponibles inmediatamente para la planta y deben ser utilizados cuando se necesite S rápidamente (Agriculture, Food and Rural Revitalization, 2003).

Para optar por una forma de aplicación del fertilizante se debe tener en cuenta la humedad del suelo, además del tipo de fertilizante a utilizar. En condiciones de buena humedad, la aplicación de fertilizantes que contienen azufre como SO_4 puede hacerse al voleo, ya que el mineral estará rápidamente disponible para las plantas. En el caso de suelos secos se obtienen mejores resultados con la aplicación en bandas, ya que estaría menos sujeto a condiciones de escasa humedad. (Grant *et al.*, 1993)

La aplicación en línea, junto a la semilla, a pesar de ser de rápida disponibilidad, tiene como inconveniente la sensibilidad de la semilla de canola, lo que podría perjudicar la implantación del cultivo. (Grant *et al.*, 1993)

2.1.3.2.- Azufre en planta

Este nutriente, tomado mediante una proteína transportadora específica (Thomson 1986) constituye aminoácidos esenciales para la síntesis proteica. (Bidwell.R.G.S., 1979; citado por Grant *et al.*, 1993).

La canola requiere grandes cantidades de este nutriente por ser un cultivo de gran producción de aceite. Análisis realizados al grano de canola demostraron que contiene cinco veces más azufre que el grano de trigo (Grant, 1990; Perry, 1992). A diferencia de lo que ocurre con el nitrógeno, el azufre no es removible desde las partes viejas de la planta hacia las que están en activo crecimiento, por lo que al estar implicado en la floración y la formación de granos, deficiencias de este nutriente en dichas etapas de crecimiento del cultivo podrían tener efectos negativos sobre el rendimiento (Malhi, 1999).

Un cultivo de canola que produce 1960 kg de grano/ha, acumula 23 kg S/ha, distribuidos un 43.5 % en la paja y la restante cantidad en la semilla. Una cebada de 3226 kg/ha de grano y un trigo de 2690 kg/ha acumulan tan solo 13 y 12 kg S/ha (Canola Council, 2003).

Schnug, 1988 (citado por Grant, 1991) encontró que este nutriente eleva los niveles de glucosinolato, tanto en los materiales de bajo como de alto contenido de este elemento. El incremento de glucosinolatos en canola nunca fue mayor a los 30 $\mu\text{mol/g}$ tomados como límite, incluso en aquellos tratamientos con elevados niveles de aplicación de azufre, por lo que concluye que este efecto es de poca importancia en canola.

La influencia del azufre en el contenido de aceites es errática. Se han observado diferentes respuestas a altos niveles de este elemento; puede disminuir (Wetter, 1970), aumentar (Ridley 1972; Nuttall 1987) o permanecer incambiado frente a esta variable (Ridley 1973; Grant *et al.*, 1993)

2.1.3.3.- Relación con el nitrógeno

La necesidad de azufre está muy relacionada con la cantidad de nitrógeno disponible para la planta. Esta relación es de esperar ya que ambos nutrientes son

constituyentes de las proteínas e intervienen en la formación de la clorofila (Agropecstar, 1999).

El N y el S se relacionan también por el hecho de que el S juega un papel importante en la activación de la enzima nitrato reductasa, necesaria para la conversión de NO_3 a aminoácidos en las plantas. Una baja actividad de esta enzima reduce los niveles de proteínas solubles, a la vez que incrementa la concentración de NO_3 en los tejidos de las plantas. La acumulación de altos niveles de NO_3 en las plantas, cuando existe una deficiencia de S, impide drásticamente la formación de semilla en cultivos sensibles como la canola (Agropecstar, 1999).

Se ha observado en diferentes ensayos la relación que existe entre el nitrógeno y el azufre; altos niveles de nitrógeno en suelos deficientes en azufre provocan mermas en el rendimiento y la calidad del grano, cuando no se fertiliza con este nutriente. En suelos deficientes en azufre la aplicación de fertilizante incrementa el porcentaje de aceite, si bien elevados niveles de azufre pueden disminuir el porcentaje de aceite (Grant, 1991).

Finlayson (1970), observó que la aplicación de nitrógeno y azufre no afectó el contenido de nitrógeno en la torta, pero fue encontrada una menor proporción de N presente como proteína en la semilla, cuando el nitrógeno fue suministrado sin azufre (Jansen *et al.*, 1984a).

Janzen *et al.*, (1984a) encontraron que la relación N: S en todos los componentes consistentemente fue mayor con el incremento en los niveles de nitrógeno y decreció con el incremento en los niveles de azufre. La baja relación N: S en las silicuas, tallos y hojas en tratamientos con bajos niveles de nitrógeno y altos de azufre, sugiere que la mayor parte del azufre estaba presente en formas no proteicas. Similar es el caso donde se encuentra alta relación N: S en hojas y tallos en los tratamientos alto N-bajo S, lo que indica altos niveles de nitrógeno no proteico (Jansen *et al.*, 1984a). Estos y otros datos demuestran que el nitrógeno y el azufre son usados en una relación constante en la síntesis de las semillas y que la parte vegetativa sirve como fosa para la deposición del exceso de nutrientes absorbidos.

Según los resultados de este ensayo y en contraposición con otros, no existió sinergismo entre la absorción de nitrógeno y de azufre. Mientras que la aplicación de un elemento aumenta la absorción del otro, este incremento fue atribuido al incremento en materia seca y mayores demandas para el crecimiento (Jansen *et al.*, 1984a).

Los mismos autores determinaron síntomas morfológicos de deficiencias de azufre en plantas de canola dentro de las dos semanas pos-siembra en tratamientos sin aplicación de azufre inicial. La severidad de las deficiencias estuvo directamente influenciada por la cantidad de nitrógeno aplicado; las plantas que no recibieron nitrógeno no mostraron deficiencias aparentes de azufre, mientras que aquellas a las que

se les fue suministrado, particularmente en altos niveles, presentaron síntomas que sugirieron serios desórdenes fisiológicos (Jansen *et al.*, 1984b).

La aplicación de fertilizantes azufrados a las plantas con deficiencias en diferentes estados de crecimiento, provocó que los síntomas disminuyeran inmediatamente y que las tasas de crecimiento se aceleraran. Esto ocurrió en todos los tratamientos con deficiencias, independientemente del nivel de nitrógeno o del momento de aplicación del azufre (Jansen *et al.*, 1984b).

Una fertilización balanceada de nitrógeno y azufre es fundamental para obtener altos rendimientos en suelos pobres; si la relación N: S es mayor que 7:1 el rendimiento puede decrecer. La adición de nitrógeno en ausencia de azufre puede inducir a la producción de aminoácidos que no serán incluidos en proteína, la fertilización con azufre provocara una mayor producción de proteína (Grant, 1990; Grant, 1991; Jansen *et al.*, 1984a).

Resulta óptima una relación 5:1 de nitrógeno y azufre respectivamente, donde la respuesta al azufre en suelos pobres está condicionada por la presencia de cantidades de nitrógeno adecuadas (Canola Council, 2003).

En un ensayo realizado por el INTA “Gral. Villegas”, donde se estudió el efecto de la fertilización con nitrógeno y azufre, se obtuvieron respuestas positivas al combinar el nitrógeno con el azufre.(Díaz Zorita citado por Scheiner *et al.*, 2000). En el mismo artículo se citan los resultados de un experimento realizado en Sta. Fe, Argentina (Rubio *et al.* 1996), en el que se concluye que el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento con aplicación de nitrógeno, fósforo y azufre, obteniéndose en éste la mayor absorción para todos los nutrientes estudiados.

La fertilización azufrada no produce respuesta en rendimiento cuando se aplica solo, pero la respuesta es incrementada cuando se observa conjuntamente con diferentes niveles de nitrógeno. La aplicación de nitrógeno provoca alta respuesta en rendimiento, que resulta mayor cuando es aplicado conjuntamente con cantidades suficientes de azufre. A bajas dosis de azufre este aumento se logra en aplicaciones moderadas a altas de nitrógeno, lo que demuestra que la respuesta en rendimiento a un elemento esta condicionada por la disponibilidad en forma balanceada del otro elemento (Jansen *et al.*, 1984a).

2.1.3.4.- Deficiencia

Por lo general no aparecen síntomas de deficiencia en los estados tempranos del cultivo (roseta), pero aparecen rápidamente cuando los botones florales se vuelven visibles (Canola Council, 2003; Hocking *et al.*, 1999). Esto es debido probablemente a la disponibilidad del nutriente en el suelo en los principios de la estación de crecimiento

del cultivo, que logran cubrir los requerimientos de los estados iniciales. Ya en elongación, la mineralización de azufre es baja y no cubre las necesidades del cultivo (Hocking *et al.*, 1999).

Las plantas insuficientes en azufre presentan síntomas algo similares a los relacionados con el nitrógeno. Se observa un amarillamiento internerval, que a diferencia de la deficiencia por nitrógeno, se presenta en las hojas más jóvenes, debido al hecho de que el azufre no es móvil en la planta. Con deficiencias severas las hojas tienden a ser más pequeñas, con forma de cuchara y un color púrpura intenso en los límites de la misma. La floración es retrasada y los pétalos toman un color amarillo pálido y la mayoría de las flores no forman silicuas. La madurez es más tardía y las silicuas son pequeñas y con pocos granos (Grant, 1990; Hocking *et al.*, 1999; Canola Council, 2003).

El azufre no es móvil en la planta por lo que las hojas, flores o silicuas más jóvenes pueden ser más deficientes en este nutriente y mostrar los primeros síntomas de deficiencia. A su vez, pueden ser encontrados con más frecuencia en los estados de botón floral y floración ya que el cultivo requiere de mayores cantidades de azufre durante este período. El retraso, tanto en floración como en madurez, provoca que las plantas presenten semillas verdes y secas, botones y flores al mismo tiempo. (Canola Council, 2003; Grant, 1991).

En suelos con disponibilidad baja de azufre para la planta a la siembra, pero con buenos niveles de nitrógeno y fósforo, las deficiencias de azufre pueden manifestarse durante el período de mayor crecimiento del cultivo, o incluso en floración y formación de semillas. Para estos casos se ha visto que la aplicación foliar de azufre es más efectiva en recuperar el rendimiento, si tiene que ser aplicado en etapas de crecimiento avanzadas (Malhi, 1999)

2.1.3.5.- Análisis foliar y de suelo

En suelos con contenidos medios a altos de materia orgánica, la absorción de azufre por parte de la planta no siempre esta correlacionada con el sulfato extraído por CaCl_2 . Diferentes factores hacen que sea difícil llevar a cabo un análisis de suelo que realmente mida el potencial del azufre disponible en el suelo. (Maynard *et al.*, 1983; Grant *et al.*, 1993)

En general el análisis de planta es usado con mejores resultados que el análisis de suelo, para conocer el nivel de azufre disponible para el cultivo. No obstante, la adición de fertilizantes nitrogenados generalmente incrementa el crecimiento vegetativo y esto se traduce en una reducción de la concentración de azufre en muchas especies bajo un mismo nivel de azufre (Spencer y Freney, citados por Maynard, 1983).

Algunos estudios caracterizan a la relación HI-S (porcentaje de azufre reducible por ácido hidriódico): S total al estado de roseta, como el índice más seguro y consistente para determinar rendimiento en grano. Además, aducen que este índice no se ve afectado por niveles de aplicación de nitrógeno normales (Maynard *et al.*, 1983).

Se determinó que las plantas de colza al estado de roseta deberían tener una relación HI-S: total S de al menos 0.38 para prevenir reducciones en el rendimiento en grano debida a insuficiencias de azufre. Pero es necesaria una mayor cantidad de observaciones a campo y un rango más amplio de condiciones ambientales para validar esta relación (Maynard *et al.*, 1983).

Cuadro 4. Porcentajes esperados de azufre en plantas de canola.

Marginal	Suficiente	Alto	FUENTE
0.20-0.24	0.25-0.49	0.50-0.99	www.gov.mb.ca
	0.47		www.ncagr.com
<0.20	0.50		www.fertilizer.org

Nota: muestras tomadas de órganos jóvenes de planta previa a floración

Se sabe que en algunos suelos con contenidos medios a altos de materia orgánica, la absorción de azufre por parte de la planta no está bien correlacionada con sulfatos extractables con CaCl_2 (Maynard *et al.*, 1983). Estudios hechos por Hamm, (1973) (citado por Grant y Bailey, 1993) indican que S-SO_4 soluble en agua es una buena medida del tenor de azufre disponible en el suelo. En suelos con un contenido de S-SO_4 menor a 20-30 kg/ha es de esperar que haya respuesta a la fertilización con azufre. (Ridley, 1973 citado por Grant *et al.*, 1993).

Debido a su carga negativa, el SO_4^- no es atraído por las arcillas del suelo y los coloides orgánicos, excepto en ciertas condiciones. Se mantiene en la solución del suelo y se mueve con el flujo de agua, por lo tanto se puede lixiviar fácilmente. Ciertos suelos acumulan SO_4^- en el subsuelo, que estaría disponible para los cultivos de raíces profundas (Agropecstar, 1999).

La mayoría del S en suelos de regiones húmedas está asociado con la materia orgánica. Transformaciones biológicas, similares a las del N, producen sulfatos que son disponibles para la planta (Agropecstar, 1999).

Otras consideraciones a tener en cuenta a la hora de recomendar una fertilización azufrada son la textura del suelo y el contenido de materia orgánica. La lixiviación de SO_4^- es más probable en suelos arenosos que en suelos de textura franca o arcillosa. La respuesta de los cultivos al S es más común en suelos de textura gruesa. Los suelos que contienen menos del 2% de materia orgánica son los que más comúnmente tienen deficiencias de azufre, sin embargo, también pueden producirse deficiencias en suelos que contienen niveles más altos de materia orgánica (Agropecstar, 1999).

2.2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Se sembraron dos ensayos correspondientes a una variedad y un híbrido de la especie *Brassica napus*, Master y Eclipse respectivamente.

El análisis estadístico de los datos se realizó por medio del software The SAS System Inc.

2.2.1.- Manejo

La siembra de las parcelas experimentales se realizó el 9 de junio, por considerarse el rango de mediados de mayo a mediados de junio como óptimo para la misma (Martino *et al.*, 1999). Se realizó sobre un suelo ubicado en el campo experimental de INIA La Estanzuela (ver ANEXO 1). El mismo presentaba abundante cebada guacha en estado vegetativo sobre la cual se aplicó glifosato seguido por quema del rastrojo. Aunque esta técnica no se considera conveniente fue necesaria para lograr una buena cama de siembra, dado el atraso en la preparación de la misma. Luego se realizó laboreo convencional con excéntrica. Se aplicó 4 L/ha de Premierline (p.c.), para controlar malezas crucíferas.

Previo a la quema y laboreo fueron aplicados 300 kg/ha de 0-46-46-0, para asegurar que el fósforo no fuera limitante. El análisis de suelo previo al momento de la siembra arrojó un valor pH (H₂O) de 5.9, un contenido de 3.8 % de materia orgánica y 15,4 ppm de P Bray I. El potencial de mineralización de nitratos era de 35 ppm de N-NH₄ y el contenido de nitratos y sulfatos en el suelo fue de 10 ppm de N-NO₃ y 10 ppm de S-SO₄.

La siembra de ambas variedades fue realizada como dos ensayos diferentes, al estar separadas por diferencias topográficas. Las diferencias entre ambos ensayos no son comparables, por lo que no deben de ser atribuidas únicamente a los cultivares al existir diferencias entre sitios.

Los materiales del ensayo de fertilización fueron elegidos por ser actuales y estar disponibles en el mercado. La variedad, Master, se caracteriza por tener una duración de emergencia a cosecha de 170 días, promedio de siembras de mayo (85 días a floración), muy buena altura de ramificaciones inferiores. Se destaca por su contenido de aceite, superior al 47%. A la vez presenta gran capacidad para acortar el ciclo por su gran tolerancia a siembras tardías, debido al buen comportamiento a bajas temperaturas en implantación (Sursem, 2003).

El híbrido Eclipse, también de ciclo intermedio, con 167 días de emergencia a cosecha para siembras de mayo-junio (82 a floración), se caracteriza por poseer buena altura de inserción de las silicuas, gran vigor de plántula y rapidez de implantación.

Presenta gran uniformidad de maduración y se destaca por contener un elevado potencial de rendimiento, siendo recomendado para planteos de elevada fertilización (Sursem, 2003)

Los momentos de aplicación del fertilizante se seleccionaron en función de los conocimientos sobre la fisiología del cultivo. El objetivo de la fertilización a siembra es lograr un buen desarrollo inicial que permita hacer un uso eficiente de la energía, nutrientes y agua en los estados posteriores. Seguido al estado B4 se da la diferenciación (C1) del ápice, de vegetativo a reproductivo, momento a partir del cual se comienzan a definir los componentes de rendimiento; silicuas y granos por silicua. El objetivo de la fertilización a B4 es lograr un buen potencial de rendimiento, que sea concretado posteriormente de mejor manera con fertilizaciones al estado E, luego del cual se da la floración.

El diseño de los tratamientos de nitrógeno es un factorial completo que resulta de combinar tres dosis de nitrógeno, 0, 30 y 60 kg N/ha, con tres momentos de aplicación del fertilizante, siembra, fin de roseta (B4) y alargamiento de la vara floral (E) (CETIOM, 1978). La aplicación del nutriente se realizó bajo forma de urea (46-0-0) en forma manual. Estas combinaciones resultaron en 27 tratamientos de nitrógeno, los cuales fueron aplicados en ambos cultivares. Los diez tratamientos con 120 kg N/ha o más fueron repetidos para adicionarles azufre (ver cuadro 5). Esta clasificación se basa en datos bibliográficos revisados que coinciden en señalar que el efecto del azufre es importante cuando los aportes de nitrógeno al cultivo no son limitantes. Por carencia de semilla, los tratamientos con azufre fueron reducidos a 8 en el cultivar Eclipse.

El azufre se suministró bajo forma de sulfato de calcio (“yeso agrícola”) conteniendo 18.8% de S. Se aplicó manualmente una dosis de 30 kg de S/ha. La fertilización con azufre se realizó cuando las plantas se encontraban en estado de roseta, momento en el cual el análisis de suelo arrojó un valor de 9 ppm de S-SO₄ en los primeros 20 cm de suelo.

Cuadro 5. Estructura de los tratamientos aplicados en Eclipse y Master

Tratamiento	Nitrógeno agregado			Azufre agregado B4
	Siembra	B4	E	
1	0N siembra	0N roseta	0N elong	0 S
2			30N elong	0 S
3			60N elong	0 S
4		30N roseta	0N elong	0 S
5			30N elong	0 S
6			60N elong	0 S
7		60N roseta	0N elong	0 S
8			30N elong	0 S
9			60N elong	0 S
28			60N elong	30 S
10	30N siembra	0N roseta	0N elong	0 S
11			30N elong	0 S
12			60N elong	0 S
13		30N roseta	0N elong	0 S
14			30N elong	0 S
15			60N elong	0 S
29			60N elong	30 S
16		60N roseta	0N elong	0 S
17			30N elong	0 S
30			30N elong	30 S
18			60N elong	0 S
31			60N elong	30 S
19	60N siembra	0N roseta	0N elong	0 S
20			30N elong	0 S
21			60N elong	0 S
32			60N elong	30 S
22		30N roseta	0N elong	0 S
23			30N elong	0 S
33*			30N elong	30 S
24			60N elong	0 S
34			60N elong	30 S
25		60N roseta	0N elong	0 S
35*			0N elong	30 S
26			30N elong	0 S
36			30N elong	30 S
27			60N elong	0 S
37			60N elong	30 S

* tratamientos ausentes en Eclipse

Nota: Dosis en Kg del nutriente/ha

El diseño experimental en los dos ensayo fue de bloques completos al azar con tres repeticiones (ver croquis en ANEXO 3). La dimensión de las parcelas fue de 7 m de largo y 6 surcos a 17 cm de ancho. Las mismas fueron sembradas con una sembradora experimental a una densidad objetivo de 110 pl/m². Luego de que la canopia cubrió el suelo se aplicó 500 cc/ha de Verdict (p.a. haloxifop metil) para controlar raigrás (*Lolium multiflorum*).

Cuando el cultivo se encontraba en roseta se aplicaron 2 L/ha del insecticida (LORSBAN 48 E, p.a. Clorpirifós 48%) para controlar lagartas defoliadoras, además de una aplicación de 400 g/ ha de Pirimor (p.a. Pirimicarb, 500g/kg) a floración al detectar la presencia de Pulgón Ceniciento (*Brevicoryne brassicae*) causando daño.

2.2.2.- Variables analizadas

2.2.2.1.- Fenología y datos de suelo

Para el seguimiento fenológico (ver ANEXO 4) se usó la escala de CETIOM, anteriormente descripta. Se realizaron análisis de nitratos (N-NO₃⁻) y sulfatos (S-SO₄⁻²) en los primeros 20 cm de suelo, a siembra, B4 y E, previo a la fertilización correspondiente a cada estadio. Fueron tomadas muestras compuestas por las parcelas que, dentro de cada repetición, compartían los mismos tratamientos hasta dicho momento. Cada tratamiento contó con tres repeticiones.

2.2.2.2.- Rendimiento y sus componentes

El cultivo fue cortado el 14 de noviembre al estado de G4, cuando los granos del tallo principal empezaban a tomar coloraciones amarronadas, lo cual fue considerado como madurez fisiológica. Para ayudar la decisión del momento de corte, se realizaron mediciones generales del contenido de humedad del grano del tallo principal, tomando la decisión cuando este oscilara entre 35 y 40 %. La evolución puede observarse en el ANEXO 5.

El material cortado se colocó en bolsas de arpillera para evitar la pérdida de granos, producto de la apertura de silicuas. Las bolsas se colocaron en cámaras con ventilación forzada durante una semana, con el fin de disminuir el contenido de humedad. Cuando la humedad de grano bajó a valores cercanos a 20 %, se procedió a trillar las muestras usando una trilladora estacionaria. Posterior a esto se pesó la totalidad del grano extraído.

Posterior a la cosecha se estimó la densidad final de plantas, contando la población en dos metros lineales dentro de cada parcela. Previo al corte del cultivo se realizaron los muestreos para determinar los componentes de rendimiento. Para la evaluación del número de silicuas por planta se tomaron tres plantas representativas en

cada parcela, contando todas las silicuas que contuvieron al menos un grano. Se determinó el peso de granos, contando 100 semillas. Se determinó el contenido de granos por silicuas, al pesar los granos de 100 silicuas seleccionadas al azar.

Es necesario aclarar que, dada la variabilidad existente en el tamaño de silicuas, como consecuencia de las características de desarrollo del cultivo, el muestreo de las 100 silicuas/parcela realizado para determinar la variable granos/silicuas haya llevado a dejar de lado silicuas de menor tamaño, error de método que podría llevar a sobrestimar dicha variable. Dado que el PMG fue tomado a partir de los granos de la anterior evaluación, es probable que también exista cierto error en la estimación de este componente. Si bien las silicuas/planta fueron correctamente evaluadas en cada planta muestreada, el tomar solamente tres plantas de una parcela que contiene entre 750 y 1000 plantas puede ocasionar también un error en la estimación de dicho componente. Pudo haberse incurrido en una selección, inconsciente, de plantas más desarrolladas que finalmente haya llevado a obtener valores mayores a los reales.

2.2.2.3.- Biomasa

Las mediciones de biomasa producida por el cultivo fueron realizadas para los estadios B4, E, F2, G3 y G4. En el estadio B4, por existir hasta dicho momento tan solo tres tratamientos (NS 0, 30, 60) se tomaron tres parcelas al azar de cada tratamiento, dentro de cada repetición, lo que arroja un total de nueve repeticiones por tratamiento. En el estadio E, se muestreó una parcela de cada tratamiento, al azar en cada uno de los tres bloques. Una vez aplicados todos los tratamientos (estadios posteriores a E), el muestreo se realizó en todas las parcelas, manteniendo tres repeticiones por tratamiento.

El corte de las plantas fue a ras del suelo, tomando las correspondientes a una superficie de 0.50 m². Para la determinación del porcentaje de materia seca se tomaron submuestras de 100 g, las cuales fueron secadas en horno a 80°C, hasta peso constante, aproximadamente 48 hrs.

2.2.2.4.- Cobertura del suelo

Se determinó la cobertura del suelo por el cultivo al estadio B4, por fotografía digital, analizada a través del programa IMAGEX32®. Las fotografías fueron tomadas a una altura de 1.60 m del suelo, abarcando un área de 1m², aproximadamente, ubicada en el centro de la parcela.

2.2.2.5.- Área foliar

Las determinaciones de área foliar fueron hechas sobre los estadios B4, E y F2. En estadios posteriores se determinó, prácticamente, ausencia de área foliar. Para la determinación del índice de área foliar (IAF) se tomaron las plantas de 30 cm de un

surco, lo que representa 0.051 m^2 , de las mismas parcelas determinadas para evaluar producción de materia seca. Se quitaron todas las hojas de dichas plantas para luego ser fotografiadas a escala. El área de dichas hojas fue determinada a través del programa IMAGEX32®. El IAF fue determinado como la superficie foliar que hay por unidad de superficie de suelo ($\text{IAF} = \text{área foliar} / 0.051 \text{ m}^2$).

2.2.2.6.- Altura

Las mediciones de altura fueron realizadas al estadio de F2, tomando el promedio de tres mediciones por parcelas, en puntos representativos de la misma.

2.2.2.7.- Contenido de nitrógeno y aceite

Fueron realizados análisis de nitrógeno en planta (%N), en los estadios B4, E, F2, G3 y G4. Los muestreos fueron realizados tomando 200 g de MS al azar de 0.5 m^2 de plantas enteras representativas de cada parcela, cortadas al ras del suelo. En los estadios B4 y E se tomaron muestras compuestas por las parcelas que, dentro de cada bloque, compartían los mismos tratamientos hasta dicho momento. Las muestras tomadas posteriormente a los tres momentos de realización de tratamientos fueron compuestas por las tres repeticiones de cada tratamiento, por lo que no se cuenta con repeticiones para dichos momentos. Lo mismo se realizó con las muestras de nitrógeno en grano.

Se realizaron análisis de contenido de nitrógeno en hoja al estadio F2, para el cual fueron realizados muestreos para cada tratamiento, compuestos por hojas jóvenes de las tres repeticiones.

La determinación de aceite en grano fue realizada en el Laboratorio de Calidad de Granos de INIA “La Estanzuela” a través del método indirecto. La determinación fue realizada en submuestras del grano obtenido en la trilla, en todas las repeticiones de todos los tratamientos.

2.3.- RESULTADOS Y DISCUCUSIÓN

Los resultados de este ensayo serán presentados y discutidos, para lo cual en primer orden es necesario presentar la situación climatológica de los ensayos, que permitan una adecuada interpretación de los resultados obtenidos. Con fines de realizar un análisis de lo general a lo particular, se analizarán primero los resultados de rendimiento en grano obtenidos según el nitrógeno total agregado. A modo de lograr abrir el efecto de dicho agregado de N es que posteriormente se estructurarán los resultados en función del momento de aplicación hasta llegar finalmente a un análisis de cada uno de los tratamientos realizados.

Posterior a esto es que se desglosa el rendimiento en sus componentes, población, silicuas por planta, granos por silicua y por último peso de granos. Cada uno de ellos será analizado primariamente por el efecto del nitrógeno total agregado, desglosando posteriormente el efecto del momento en que fue agregado.

Seguido a lo anterior cabe analizar los resultados obtenidos que caracterizan los parámetros de crecimiento del cultivo. Dentro de ellos el primero a considerar es la producción de biomasa que han tenido ambos materiales durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo. Posteriormente, serán considerados cobertura, índice de área foliar y altura en determinados estadios del cultivo.

Otro de los parámetros medidos es el contenido de nitrógeno en planta, en proporción de la materia seca y en cantidad total acumulada, durante los distintos estadios del cultivo, donde se incluye el contenido de N en hoja a F2 al igual que el contenido en grano. Finalmente, es analizada la eficiencia de partición de la materia seca a través del índice de cosecha. Todos los parámetros son analizados primariamente en función del N total agregado, desglosando posteriormente el efecto en función del momento.

Además de analizar el efecto del N en parámetros de crecimiento y producción del cultivo es que por último se presenta el efecto del nutriente total sobre la proporción de aceite en grano, desglosándose posteriormente en el efecto de cada momento.

Es importante aclarar que todo lo analizado y discutido respecto a los parámetros anteriormente mencionados en función de nitrógeno, es realizado ignorando totalmente a los tratamientos con azufre. Al final de este capítulo se presenta el efecto que tuvo este nutriente sobre dichos parámetros, considerando los tratamientos azufrados y los respectivos sin dicho nutriente.

2.3.1.- Clima

En la figura 2 se relaciona el régimen climático con los diferentes estados del cultivo: siembra (S), emergencia (A), roseta (B4), elongación (E), plena floración (F2) y cosecha. En la misma puede observarse que en ningún caso hubo lluvias abundantes inmediatas a la fertilización. A su vez, no se destacan períodos prolongados con ausencia de precipitaciones lo que estaría indicando que el cultivo no sufrió estrés hídrico.

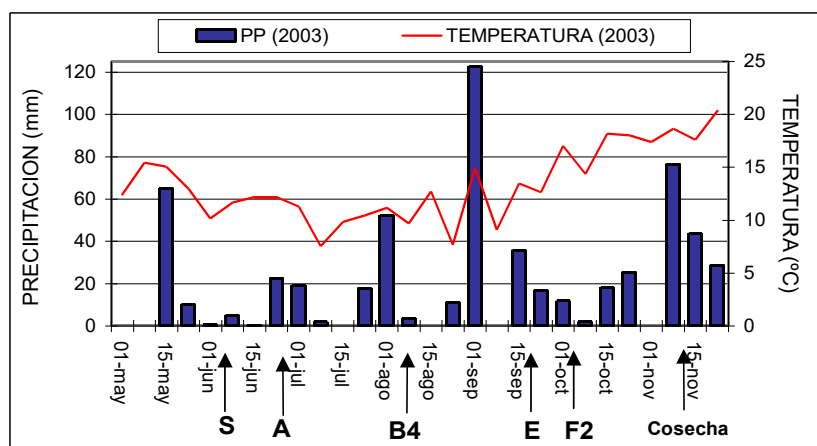


Figura 2. Régimen semanal de precipitaciones y temperatura media para el período de crecimiento del cultivo

Fuente: <http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/index.html>

Ver detalle en ANEXO 2

Las bajas temperaturas, en este año, no afectaron el desarrollo de la canola. A pesar de que las heladas ocurridas en los primeros dos meses de sembrado fueron frecuentes (junio=11, julio=13), las plántulas no fueron afectadas. El mes de floración, período de alta sensibilidad del cultivo, transcurrió libre de heladas, por lo que no se detectaron daños.

2.3.2.- Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de grano

En general, existió efecto de los tratamientos ($P < 0.0001$). Los coeficientes estadísticos se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Coeficientes estadísticos de la variable rendimiento

	<i>Min</i>	<i>Máx</i>	<i>Media</i>	<i>CV(%)</i>	<i>R²</i>	<i>DMS</i>
Eclipse	1298	3568	2483	13.19	76.8	518.9
Master	729	3267	2025	15.16	77.8	477.2

Resultan ser importantes rendimientos (Cuadro 6) si los comparamos, por ejemplo, con los obtenidos en el predio Aguirre Hnos., de Ombúes de Lavalle, donde se obtuvieron rendimientos promedio de siete años de 1481 kg/ha (Ponce de León *et al.*, 1999).

Cuadro 7. Análisis de varianza de la variable rendimiento por tratamiento

ECLIPSE					
F. de V.	G.l.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Tratamiento	26	16699682	642295	6.40	<.0001
Bloque	2	608982	304491	3.04	0.0566
Error	52	5215606	100300		
Total	80	22524270			
MASTER					
F. de V.	G.l.	S.C.	C.M.	f	Pr>f
Tratamiento	26	12809293	492665	6.15	<.0001
Bloque	2	848479	424239	5.29	0.0083
Error	49	3926315	80129		
Total	77	17711220			

2.3.2.1.- Respuesta a la dosis total de nitrógeno agregado

Se dio una respuesta lineal al agregado de nitrógeno en los dos ensayos, como lo expresa la figura 3. Esta era esperable dado los niveles de N-NO₃ a la siembra, valores en los cuales se encuentra respuesta en otros cultivos que presentan menores requerimientos, como los cereales (Perdomo *et al.*, 1999; Canola Council, 2003). A su vez, ya han sido reportados casos en Uruguay, donde en suelos de Young con 14 ppm de N-NO₃ al momento de siembra, niveles adecuados para trigo, se encontró respuesta a un esquema de fertilización que incluyó 28 kg de N/ha a la siembra, 45 en roseta y 30 en comienzos de elongación (PROVA, 1994 citado por Ponce de León *et al.*, 1999), por lo que era de esperar encontrar respuesta para 10 ppm de N-NO₃ a siembra.

En el caso del cultivar Eclipse dicha respuesta fue de 9.9 kg de grano por cada kilo de nitrógeno agregado, mientras que en el cultivar Master, la respuesta fue de 8.95 kg de grano por kg de nitrógeno agregado. Considerando que éstos valores son promedios de las distintas dosis y momentos de fraccionamiento, son similares a los reportados por Tamagno *et al.*, 1999, donde si bien la eficiencia fue de 5.63 cuando se aplicaron 90 UN solo a siembra, el fraccionamiento de ésta dosis elevó el coeficiente a 11.35 y 13.11 kg grano/kg N, para distribuciones en dos y tres momentos, respectivamente.

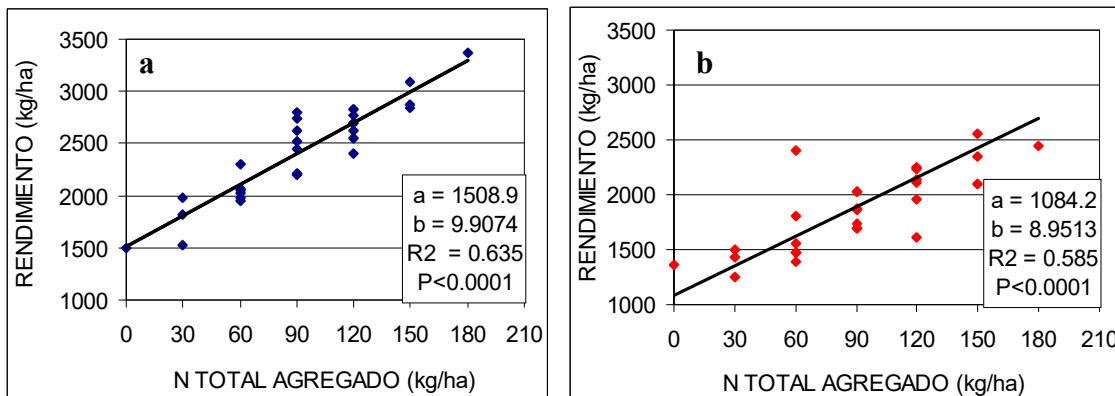


Figura 3. Rendimiento en grano (kg/ha) de los cultivares Eclipse (a) y Master (b) en función de la fertilización nitrogenada total

Éstas diferencias no pueden ser atribuidas únicamente a menores potenciales respuestas de la variedad frente al híbrido, por ser ensayos diferentes, pudiendo deberse a un efecto sitio, cultivar, a ambos o a una interacción de ambos .

En Eclipse no se llegó a explorar el máximo de respuesta a pesar de las elevadas dosis aplicadas. Esto coincide con diversos trabajos donde se encontró respuesta a dosis aún mayores a 180 kg/ha (Canola Council, 2003; Grant *et al.*, 1993 ;Hocking *et al.*, 1999). Se han reportado respuestas hasta aplicaciones de 270 kg de N/ha (Canola Council, 2003). Soper (1971), determinó respuesta hasta 200 kg N/ha, que si bien fue elevada, nunca se llegó a producir 2000 kg de grano/ha. Según Jackson (2000), esa relación lineal del rendimiento refleja la tendencia del cultivo a exhibir un hábito de crecimiento indeterminado.

En Master aunque existió una tendencia al incremento lineal del rendimiento en función del nitrógeno total agregado, éste se establece cuando los niveles de nitrógeno agregado son superiores a 150 kg N/ha.

Los rendimientos obtenidos en ausencia de agregado de nitrógeno fueron elevados, considerando los niveles de dicho nutriente a la siembra (10 ppm N-NO₃) y los elevados requerimientos de nitrógeno por tonelada de grano de este cultivo, los cuales varían entre 50 y 80 kgN/tt grano (Jackson, 2000; Pouzet *et al.*, 1995; Canola Council, 2003). En trabajos argentinos (Sarandón *et al.*, 1996), realizados en La Plata, se obtuvieron rendimientos de aproximadamente 920 kg/ha cuando no se fertilizó, valores notoriamente inferiores a las situaciones obtenidas en este ensayo.

2.3.2.2.- Momento de aplicación

Los valores observados en la figura 4, son promedios de las combinaciones de tratamientos que comparten una misma dosis en un momento. Por ejemplo, el valor de rendimiento para 0 kg de N/ha a la siembra surge del promedio de todos los tratamientos que no recibieron nitrógeno a la siembra, independiente del tratamiento en los momentos posteriores.

Coincidiendo con lo anteriormente mencionado, se observa una respuesta clara a la dosis de nitrógeno agregado, independientemente del momento, no existiendo interacciones significativas entre los momentos (Anexos 12 y 13). Como se observa en la figura 4, en el sitio de Eclipse se obtuvieron incrementos en rendimientos estadísticamente significativos a la adición de nitrógeno, en cualquier de los tres momentos. La tendencia en rendimiento obtenida en Master fue similar, excepto al pasar de 30 a 60 kg de N/ha agregados a elongación, donde igualmente hubo un aumento de poco más de 100 kg.

En promedio se obtuvo un incremento de entre 9.3 y 10.9 kg de grano por unidad de nitrógeno agregado en el híbrido. La mayor eficiencia en el uso del fertilizante fue obtenida al agregar en el estado B4 (roseta), donde se obtuvieron 10.9 kg grano/kg N, explicando la dosis agregada el 26% de la variación del rendimiento. Sin embargo, el mayor incremento en rendimiento fue obtenido con el agregado de las primeras 30 unidades a la siembra, siendo éste de 346 kg de grano, lo que arroja una respuesta máxima de 11.53 kg grano/kg N. Esta mayor respuesta a las primeras 30 unidades también se dio en los momentos posteriores.

En Master la eficiencia de uso del fertilizante fue de alrededor de 6 kg grano/kg N, tanto cuando se fertilizó a siembra como a elongación. El salto en eficiencia es destacado para el agregado a roseta, obteniéndose valores de 12.4 kg de grano/kg N. A su vez, la dosis agregada en este estado logra explicar el 40 % de la variación en rendimiento.

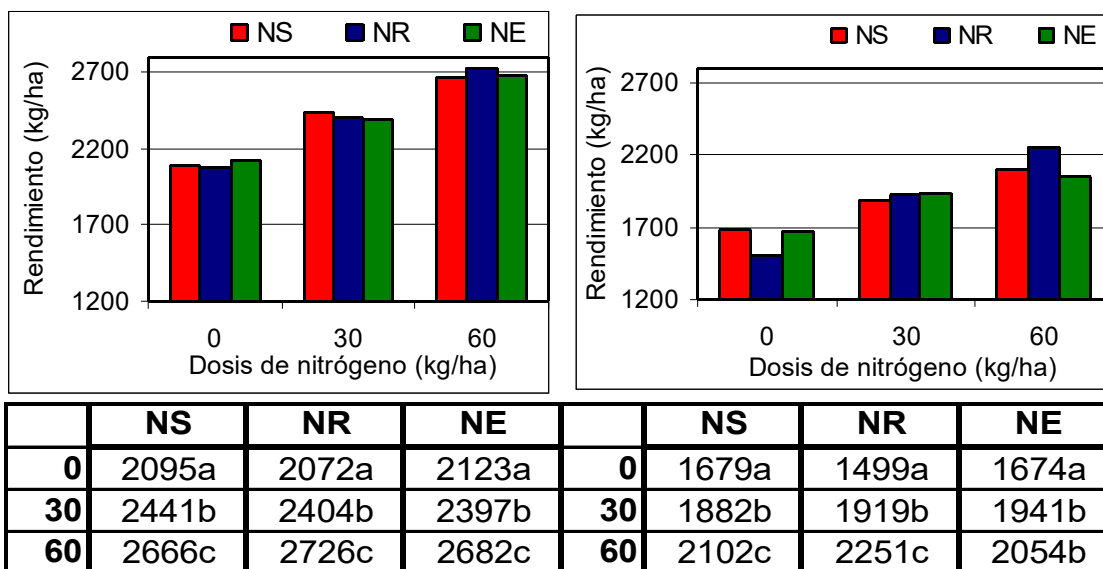


Figura 4. Rendimiento en Eclipse y Master según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos.

En ambas situaciones la fertilización a B4 resultó ser, en promedio, la más eficiente. Esto puede estar explicado porque este momento coincide con la ocurrencia de diversos procesos fisiológicos, fundamentales para la definición del rendimiento y sus componentes, los cuales se encuentran afectados por la disponibilidad de nutrientes.

Posterior a B4 se da la diferenciación a reproductivo (C1), a partir de lo cual comienza la elongación de la vara floral. Durante este período se originan un grupo de yemas florales, que luego formarán flores. A su vez, comienza la diferenciación de óvulos dentro del ovario y el desarrollo del polen (Mendham *et al.*, 1995).

Todos estos procesos determinan que el rendimiento sea definido durante la elongación del tallo, desde la diferenciación del ápice hasta que la vara floral completa su desarrollo. Este período queda comprendido entre ésta segunda fertilización y el último momento de adición. Es allí donde según Gómez (2002), se empieza a generar el número potencial de granos por unidad de superficie y cuando más influyen los factores ambientales, dentro de los que podemos considerar la disponibilidad de nitrógeno. Éstos parámetros fisiológicos podrían estar explicando la mayor respuesta al agregado de nitrógeno a fines de roseta.

En Eclipse, si bien la respuesta fue mayor en la aplicación a roseta, no existieron grandes diferencias entre los momentos. Según Martino *et al.* (1999), el que no reporten mayores diferencias en respuesta entre los distintos momentos de aplicación puede

deberse a la elasticidad que presenta el cultivo, consecuencia del crecimiento indeterminado, la movilidad del nutriente dentro de la planta y la capacidad de compensación entre los distintos componentes del rendimiento. Esto podría permitir una demanda uniforme y constante de N a lo largo del ciclo (Martino *et al.*, 1999).

Sin embargo, según Johnston *et al.* (1998), la acumulación de nitrógeno sigue una curva de distribución de tipo sigmoide, similar a la curva de acumulación de biomasa, pero más temprana en su máximo y en su punto de inflexión. Este patrón de acumulación de nitrógeno en planta determina que la demanda a lo largo del ciclo no sea uniforme. La mayor respuesta al agregado a roseta, podría estar explicado por la tasa de absorción de nitrógeno propuestas por Johnston *et al.* (1998), la cual es máxima durante el período de 5 hojas a primer flor, que coincide con el período posterior a la segunda fertilización.

2.3.2.3.- Análisis combinado del factorial: dosis y momentos de aplicación

Una vez analizados los efectos principales de la fertilización nitrogenada en cada momento, debemos desglosar el factorial analizando todos los tratamientos aplicados. Aquí se analizará dentro de cada momento de fertilización, el efecto de las dosis dentro de una situación dada por las fertilizaciones aplicadas en los momentos restantes.

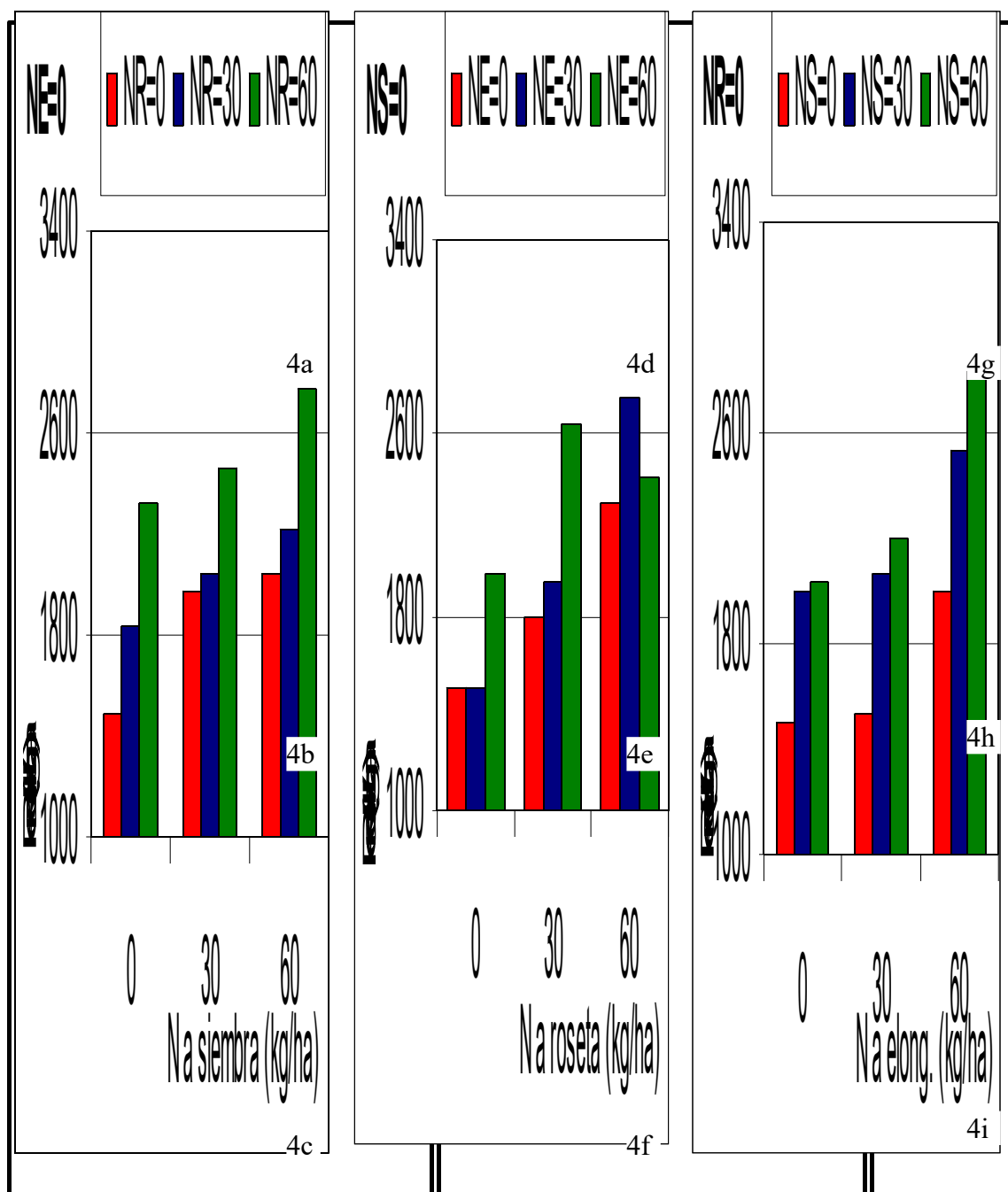


Figura 5. Efecto de la fertilización nitrogenada a la siembra, roseta y elongación sobre el rendimiento en grano de Eclipse

Nota: NS=dosis de N a siembra; NR=dosis de N a roseta; NE=dosis de N a elongación. medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$), letras minúsculas comparable entre filas para una misma columna; mayúsculas entre columnas.

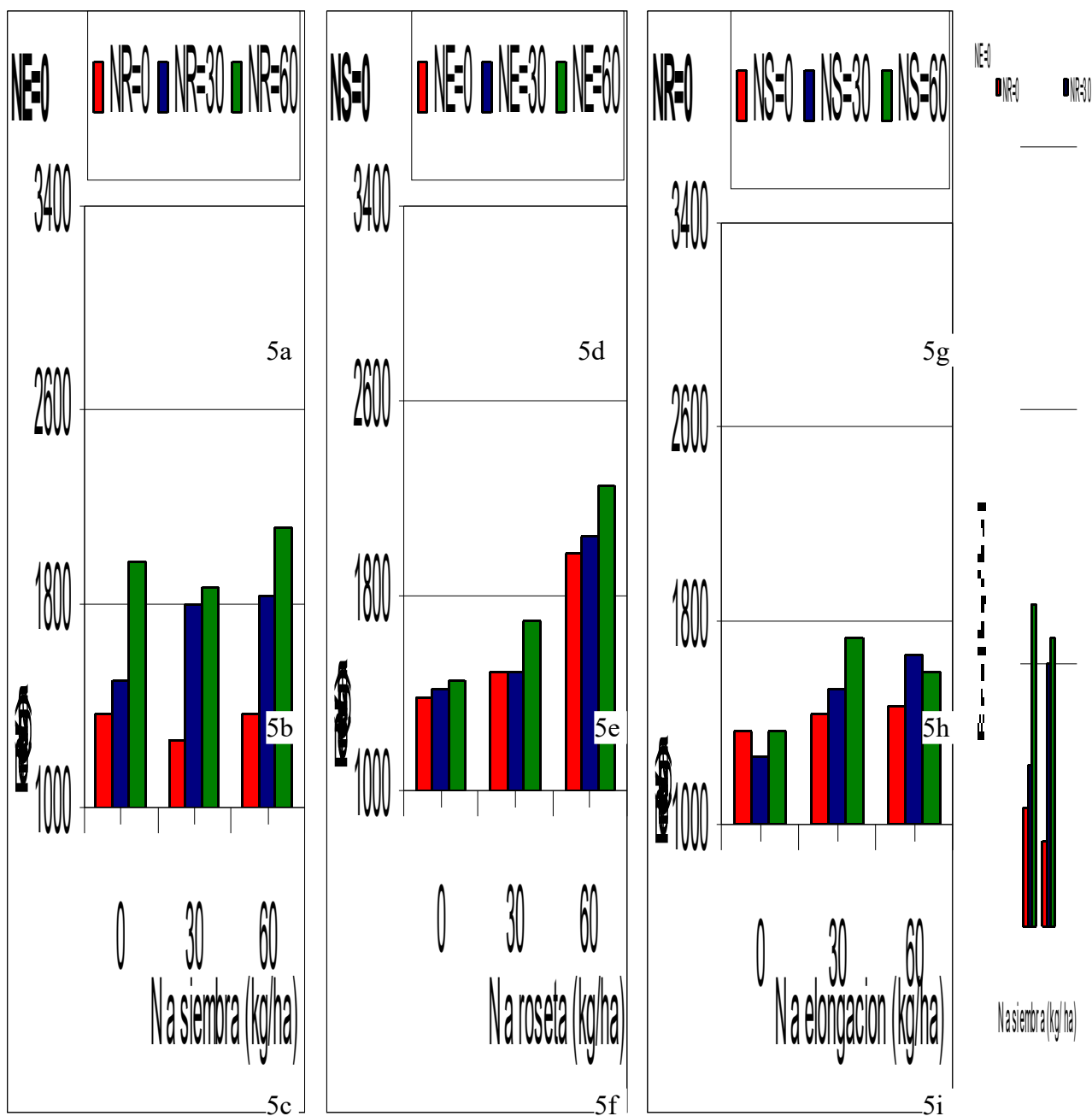


Figura 6. Efecto de la fertilización nitrogenada a la siembra, roseta y elongación sobre el rendimiento en grano de Master

Nota: NS=dosis de N a siembra; NR=dosis de N a roseta; NE=dosis de N a elongación. medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$), letras minúsculas comparable entre filas para una misma columna; mayúsculas entre columnas.

2.3.2.3.1.- Agregado a siembra

En la figura 5a, se observa que en Eclipse, con un único agregado de 30 kg/ha de N a siembra se obtiene un incremento de casi 500 kg de grano. Si bien no resultó ser una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), con un coeficiente de variación del 25.9 %, tiene gran validez agronómica, significando más de 16 kg de grano por unidad de nitrógeno agregado. Sin embargo, cuando se agregó 60 kg N/ha a siembra, el incremento en rendimiento por esas 30 unidades adicionales no fue significativo ni importante.

En Master, el agregado de N a siembra (figura 6a), sin agregar en otro momento del ciclo del cultivo, no determinó incrementos en rendimiento para ninguna de las dosis agregadas. Sin embargo, cuando fueron agregadas 30 kg/ha de N a roseta, la respuesta al agregado a siembra fue mayor a 300 kg/ha de grano. Tampoco fueron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), pero dado que las diferencias de medias mínima para ser considerada significativa ronda los 500 kg (tanto en Master como en Eclipse), es importante resaltar la magnitud de dicho valor desde el punto de vista agronómico. Cuando se utilizó una dosis elevada a roseta, la eficiencia de uso del nitrógeno agregado a siembra fue baja.

Dadas las características de respuesta de este material, podría considerarse razonable la ausencia de respuesta al agregado a siembra como único momento, dado que es muy dependiente del agregado a roseta. El contar con una dosis en dicho momento, determina que el potencial generado por fertilizaciones a siembra pueda luego ser aprovechado al contar con una buena disponibilidad de nitrógeno en el momento crucial del cultivo, durante la elongación del tallo.

En Eclipse, la respuesta al agregado a siembra, bajo condiciones donde se fertilizó a roseta (figura 5a), fue básicamente aditiva. Solo se determinaron diferencias significativas ($P < 0.10$) en rendimiento al pasar de 0 a 60 kg N/ha cuando posteriormente serían agregados 30 kg/ha de N a roseta. Sin embargo, se obtuvo una producción de grano de por lo menos 4.8 kg de grano por kg de nitrógeno, llegando a relaciones de hasta 10.6.

Bajo una dosis a elongación de 30 kg/ha (figura 5b), se encontró efecto estadísticamente significativo del agregado de N a siembra en Eclipse, cuando posteriormente a roseta se agregaron 30 unidades ($P < 0.05$) y cuando no se agregó ($P < 0.10$), no encontrándose diferencias significativas entre las dosis a siembra, cuando la dosis a roseta es de 60 kg/ha. En esas dos situaciones que generaron respuesta significativa al agregado de N a siembra, la misma fue frente al agregado de las primeras 30 unidades de N, no existiendo efecto aditivo por el agregado de 30 unidades más.

En el caso de Master, cuando se agregaron 30 unidades a elongación (figura 6b), se obtuvo respuesta significativa ($P<0.05$) al agregado de 60 unidades a siembra frente 0 y 30, tanto cuando no se agregó como cuando se adicionaron 60 kg/ha de N en el siguiente período. Cuando se agregaron 30 kg/ha a roseta se obtuvo diferencia significativa ($P<0.10$) solamente entre los tratamientos a siembra extremos.

Cuando la dosis a elongación se elevó a 60 en Master (ver figura 6c), se obtuvieron elevados incrementos por agregado a siembra cuando existieron posteriores fertilizaciones a B4. Los mismos llegan a los 20 kg de grano por kg de N, al agregar 60 unidades a siembra, cuando se contó con una refertilización de 30 y posterior de 60 kg N/ha.

En Eclipse, el incremento en rendimiento por la fertilización basal cuando se agregó 60 kg/ha a elongación se dio frente a los tratamientos extremos a roseta (figura 5c). Estadísticamente dicho incremento fue significativo solamente cuando no se agregó N a roseta, obteniéndose incrementos de 17.8 y 14 kg grano/kg N cuando se agregaron 30 y 60 kg N a siembra, respectivamente.

En general, se observa un efecto incremental del agregado de N a siembra y aditivo frente a los posteriores agregados. Aunque esas diferencias no siempre son consistentes desde el punto de vista estadístico, muchas presentan gran validez agronómica.

Los incrementos en rendimientos según nitrógeno agregado a siembra son coincidentes con los requerimientos que caracterizan a las especies primaverales. Éstos oscilan entre 50 y 80 kg de N por tonelada de grano, según la literatura, lo que significan eficiencias de entre 20 y 12.5 kg de grano/kg de N agregado (Pouzet *et al.*, 1995; Jackson, 2000).

A su vez, era esperable el efecto del N a siembra sobre el rendimiento, dado que éste afecta muchos parámetros de crecimiento que influyen directamente sobre el mismo. Es el caso del área foliar, donde el agregado de N tiene gran influencia sobre su nutrición y desarrollo (Allen *et al.*, 1972; Almond *et al.*, 1986; Canola Council, 2003), e indirectamente sobre el rendimiento, dado que el 66 % del N ubicado en las hojas es posteriormente retranslocado a las semillas (Pouzet *et al.*, 1995), donde se incrementa la formación de proteína y por lo tanto el crecimiento en general (Almond *et al.*, 1986).

2.3.2.3.2.- Agregado a roseta

Al analizar el efecto del agregado de N a roseta, como única fertilización, se observan incrementos estadísticamente significativos para dosis de 60 kg/ha de N. En Eclipse (figura 5d), éstos fueron de 13.5 kg de grano/kg de N, cayendo a 10.25 para la variedad Master (figura 6d).

A su vez, el agregado de N a roseta, como única aplicación, fue el momento de agregado que mayor incremento en rendimiento permitió, tanto en Master como en Eclipse.

Cuando no existió agregado basal de N, en Master (ver figura 6d) se determinaron incrementos significativos ($P < 0.10$) en rendimiento por la adición de 60 kg/ha, independientemente de lo hecho posteriormente a elongación. No se lograron incrementos significativos frente al agregado de una menor dosis. En Eclipse (figura 5d), si bien los incrementos solo fueron significativos ($P < 0.05$) frente a dosis altas, se observa un efecto gradual según la dosis a roseta, cuando posteriormente no se agregó o se utilizó una dosis de 30 kg/ha de N. Cuando la dosis a elongación fue de 60 unidades, el incremento se dio frente a las primeras 30 unidades agregadas a roseta, no difiriendo al agregar 60 unidades de N.

Los incrementos obtenidos por el agregado a roseta, cuando no se fertilizó a siembra, fueron siempre superiores a los 600 kg en Master, llegando hasta un máximo de 1215 kg por el agregado de 60 kg en Eclipse.

En general, tanto en Eclipse como en Master, se lograron incrementos significativos ($P < 0.10$) en rendimiento frente al agregado de nitrógeno a roseta, independientemente de los tratamientos recibidos anterior y posteriormente. A su vez, el efecto de la fertilización a roseta es básicamente aditivo, no observándose interacciones consistentes con las dosis en los restantes momentos de fertilización.

El efecto incondicional del agregado de N a roseta sobre el rendimiento, presenta bases fisiológica en los procesos que le siguen a dicho momento (Pouzet *et al.*, 1995; Gómez, 2003). La próxima diferenciación del ápice y definición de los componentes de rendimiento determinan que exista dicho efecto.

Las diferencias en rendimiento pueden ser resultado de un mayor número de silicuas/m², como lo encontrado en trabajos de Tamagno, Chamorro y Sarandón (1999), donde se destaca al componente silicuas por su sensibilidad a la fertilización nitrogenada, lo que hace indispensable la necesidad de adicionar N previo a la definición de dicho componente. También es destacable la estrecha dependencia de la nutrición carbonada del ápice y órganos reproductivos, lo que está ligado a la actividad fotosintética de las hojas. Por lo que, un aumento en la disponibilidad nítrica que permita un atraso en la senescencia es necesario para lograr mayor persistencia del área foliar (Tamagno *et al.*, 1999).

Resulta importante relacionar la respuesta a la fertilización nitrogenada con los tenores de dicho nutriente en suelo y planta (analizados posteriormente en profundidad) al momento de haberse realizado. Las diferencias encontradas para los niveles de

nitrógeno en planta aparentan ser más consistentes frente a las observadas para N en suelo (com. pers. Alejandro Morón). Más allá de los incrementos en los niveles de ambos indicadores de contenido nítrico, no se encontraron consecuentes disminuciones en los niveles de respuesta frente al agregado de nitrógeno a roseta. Esto permite afirmar que los máximos contenidos encontrados en planta y suelo a B4, de 4.15% y 11 ppm para Eclipse y 4.40% y 14 ppm en Master, respectivamente, no llegaron a ser suficientes para explorar el máximo potencial de ambos cultivares, sin la necesidad de un aporte exógeno en dicho momento.

Seguramente sea necesario estudiar mayores niveles de éstos indicadores, tanto generándolos con dosis mayores a siembra como utilizando situaciones de mayor aporte de nitrógeno. Esto permitiría definir los umbrales mínimos requeridos por el cultivo para determinar suficiencia en dicho momento, que determina la ausencia de respuesta en redimiendo en grano por la fertilización bajo esos niveles.

El estado de roseta es destacado como el de más elevado contenido de nitrógeno en planta (Canola Council, 2003). Según Rollier (1970), éstos niveles rondan entre 3.5 y 4.8 % para el período de roseta (Almond *et al.*, 1986). Dentro de éstos niveles se encuentran los obtenidos en este ensayo, los que afirmarían el no haberse logrado los máximos, lo que explica la existencia de respuesta bajo todas las situaciones.

Sin embargo, dada la movilidad de nitrógeno en la planta, la concentración varía según el estado fenológico (Martino *et al.*, 1999), por lo que resulta poco preciso comparar con valores correspondientes a roseta, período dentro del cual se encuentran diversos estados fenológicos.

Considerando que el estado B4 podría ser definido como fin de roseta, los niveles correspondientes propuestos por Rollier (1970) son significativamente menores a los obtenidos en este ensayo, abarcados dentro de un rango de 2.2 a 2.8 %.

2.3.2.3.3.- Agregado a elongación

La fertilización a elongación como único momento, no causó incrementos significativos ni en Master ni en Eclipse, aunque en ésta última se obtuvo un incremento de 8.1 kg de grano/kg N al agregar 60 kg de N.

Como se observa en la figuras 5g, 5h y 5i, en Eclipse se obtuvieron incrementos en rendimiento, en la mayoría de las situaciones, superiores a los 400 kg de grano frente al agregado de la mayor dosis a elongación. Sin embargo, éstos incrementos fueron de mayor magnitud y significativos ($P < 0.05$) solo cuando a la siembra se aplicó una dosis de N de 60 kg/ha. En general se observaron incrementos con mayor magnitud frente al agregado de 60 unidades, no siendo tan claros cuando la dosis a elongación fue menor.

En Master, los incrementos obtenidos fueron significativos cuando se agregaron 30 kg/ha a siembra, 60 y 30 a siembra y roseta respectivamente y cuando se agregó 60 kg de N a roseta habiéndose agregado N a siembra. En los restantes tratamientos, además de no obtenerse incrementos significativos por el agregado en el estadio E, los incrementos absolutos fueron considerablemente inferiores (figuras 6g, 6h y 6i).

Si bien se determinaron incrementos en rendimiento frente al agregado en dicho momento, éstos fueron promedialmente menores frente a los anteriores momentos. El estadio E de fertilización, ocurre próximo previo a la floración; en trabajos argentinos, la fertilización a floración fue la menos eficiente, frente a agregados a siembra y roseta, adjudicándole el menor efecto a que los componentes de rendimientos ya han sido definidos en su mayoría (Gómez *et al.*, 2000). La fertilización en este ensayo fue realizada en el estado E, momento próximo a la floración

Los resultados obtenidos en rendimiento según el nitrógeno adicionado a elongación no siguieron ningún patrón comparativo a los contenidos de nitrógeno en suelo ni en planta al momento de dicho agregado.

Los valores de nitratos en suelo rondaron entre 5 y 6 ppm, independientemente de los tratamientos nitrogenados previos al análisis. Era esperable que no se ajustara el nivel de nitratos en suelo como un indicador de la necesidad de N para el cultivo. Al igual que en otros cultivos, como los cereales, en estados avanzados la dinámica de este nutriente es mayor, consecuencia de la elevada demanda del cultivo y del mayor aporte del suelo debido a las mayores temperaturas correspondientes a la segunda quincena de setiembre.

Sin embargo, los valores de nitrógeno en planta determinados al estado E, tampoco resultó ser un buen indicador de la nutrición del cultivo. Según Hocking y Barrow (1993), dada la variabilidad en la concentración en el conjunto de la planta, para lograr valores comparables es necesario realizar análisis de los contenidos en el pecíolo de la hoja madura más joven (citado por Ponce de León *et al.*, 1999).

2.3.3.- Componentes del rendimiento según N agregado

2.3.3.1.- Nitrógeno total agregado

El rendimiento obtenido de un cultivo es consecuencia directa de lo que ocurre con sus componentes. Por lo general existe un componente que explica la variación del rendimiento en mayor grado que los demás y por lo tanto es el que adquiere mayor importancia. A su vez, pasan a ser relevantes las variables que logran afectar dicho componente.

En la figura 7 se puede apreciar los valores observados de algunos de los componentes principales del rendimiento, según nitrógeno total aplicado. De los resultados obtenidos a este respecto y basándose en términos estadísticos, se determinó que el componente que mejor explicó la variación del rendimiento a consecuencia de los tratamientos en el híbrido Eclipse, fue el número de silicuas por planta, no viéndose afectados el número de granos por silicua como tampoco el peso de grano.

Como se observa en la figura 7, la única ecuación de regresión ajustada corresponde al componente silicuas en Elipse. En este híbrido hubo un incremento de más de 20 silicuas/planta cada 100 kg de N agregado, sin embargo el ajuste de dicho modelo está sujeto a una variación del 34 %.

Esto concuerda con trabajos anteriores, donde se cita al número de silicuas por planta como componente principal del rendimiento. En trabajos de Dawkins (1985), se concluye que el mayor efecto del nitrógeno en incrementar los rendimientos fue por el número de silicuas a cosecha, mientras que el número de semillas por silicuas y el tamaño de las semillas se mantuvo constante(Almond *et al.*, 1986).

En ensayos argentinos se encontró que la fertilización aumenta el número de silicuas/planta, siendo el número de semillas/m² el componente más correlacionado con el rendimiento(Sarandón *et al.*, 1996). Esto concuerda parcialmente con lo que ocurrió en el presente ensayo, donde por cada 100 kg de N aumentan 22 silicuas por planta, siendo éste el mayor determinante del rendimiento.

En el caso de Master no es tan claro el efecto de los tratamientos sobre alguno de los determinantes del rendimiento. Ninguno de los componentes medidos en este ensayo tuvo asociación con el rendimiento obtenido ni con el nitrógeno agregado.

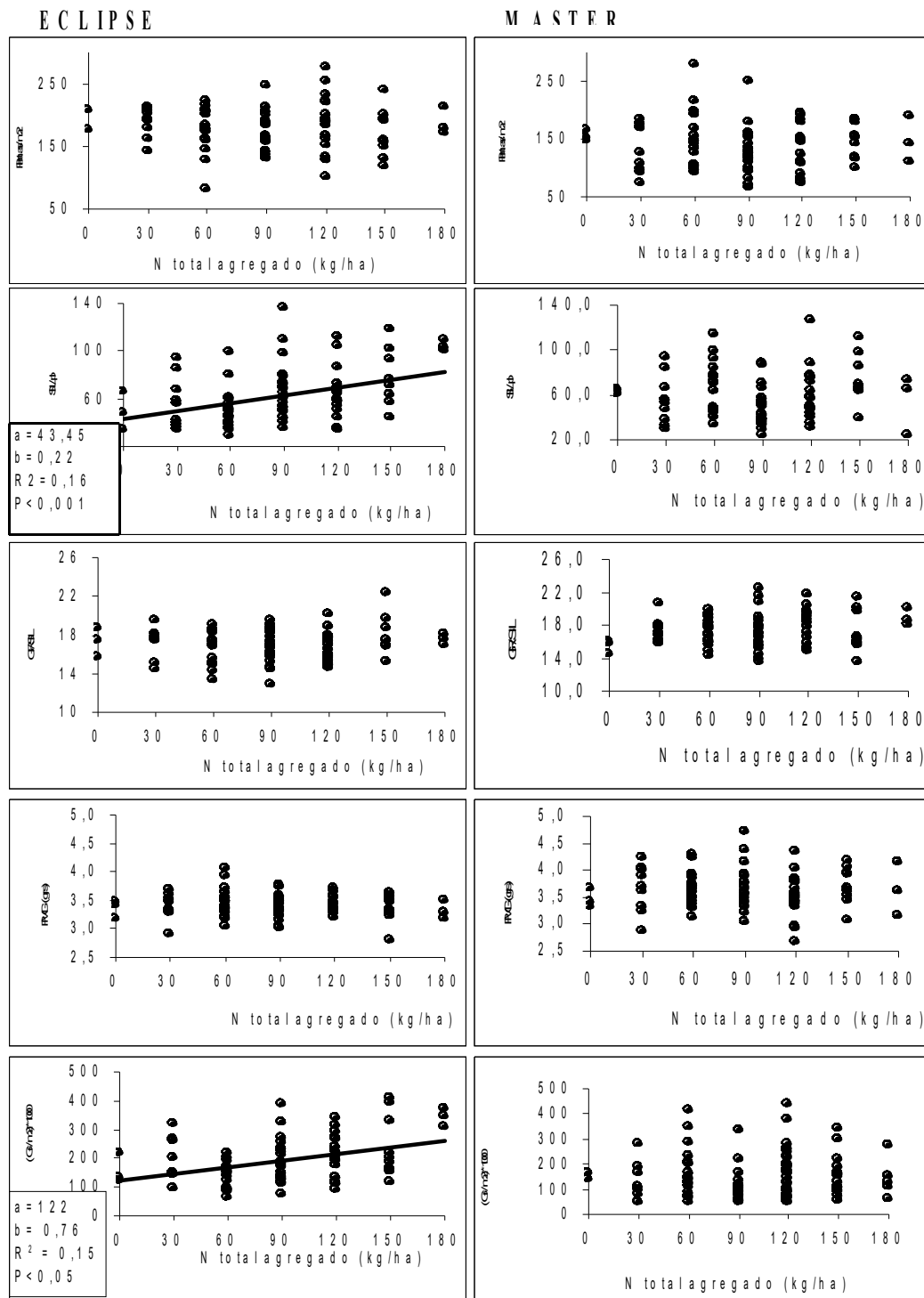


Figura 7. Granos por silicua, silicuas por planta y peso de mil granos según N total agregado en Eclipse y Master

Nota: Solo se presentan las regresiones con validez estadística ($P < 0.05$)

La población, si bien tuvo variación entre parcelas, no se atribuyó a la dosis de nitrógeno agregada en ninguno de los materiales. Esto es coincidente con trabajos de Sarandón, *et al.* (1996), donde no obtuvieron diferencias en el número de plantas/m² entre tratamientos de nitrógeno que iban desde 0 hasta 150 kg N/ha. No se han establecido efectos significativos de la fertilización nitrogenada sobre la densidad de plantas al inicio del ciclo del cultivo (Brennan *et al.*, 2000)(Mason *et al.*, 1998).

Al analizar la producción de granos.m⁻², se podrían estar nucleando las respuestas poco robustas de los componentes que lo determinan. Sin embargo, como se observa en la figura 7, en Master, al igual que en los anteriores componentes de rendimiento, no se encontró correlación ninguna con el nitrógeno agregado. Si bien en Eclipse se determinó cierta correlación, ésta no fue de mayor magnitud que la determinada en silicuas por planta.

El producto de los datos observados para los componentes de rendimiento, arroja valores de rendimiento calculado notablemente mayores a los observados. De acuerdo a lo anterior y a lo encontrado en la literatura (Canola Council, 2003; Allen *et al.*, 1972; Sarandón *et al.*, 1996), es posible inferir la ocurrencia de una sobre estimación de algunos de los componentes del rendimiento. En trabajos de Allen *et al.* (1972), bajo densidades de 200 pl/m², se obtuvieron valores de silicuas/pl que oscilaron entre 25 y 53, de semillas/sil con valores entre 9 y 12 y pesos de mil semilla entre 2.59 y 2.87 gr, dentro de un rango de 6 dosis comprendidas entre 0 y 150 kg. de N. Dichos valores fueron inferiores a los estimados en este ensayo.

Si bien los valores obtenidos para los componentes de rendimiento son erróneos, el que haya una constante sobrestimación determina que los datos igualmente permitan mostrar tendencias, ya que los errores inconscientes de muestreo cometidos fueron constantes para todas las parcelas.

Sin duda, para futuros trabajos debería cambiarse la sistemática de muestreo. Para la estimación de los componentes deberían tomarse plantas de una superficie determinada. Considerando la magnitud del ensayo y lo tedioso del conteo de granos, la determinación de granos/silicua podría ser realizado a través de la clasificación visual de silicuas por tamaño, asociadas a determinado contenido de granos, que permita una más rápida y representativa estimación de dicho componente y por consiguiente del PMG.

2.3.3.2.- Momento de aplicación

2.3.3.2.1.- Población

En este componente del rendimiento, aunque se apuntó a una densidad similar para todos los tratamientos, existió cierta variación entre parcelas (ver figura 8). Ésta

variación no respondió a los tratamientos de nitrógeno aplicados, al igual que en diversos trabajos (Brennan *et al.*, 2000)(Mason *et al.*, 1998).

Dicha variación podría estar determinando que la densidad de plantas se estuviera comportando como una covariable, la cual explicaría la gran dispersión de los rendimientos respecto a los restantes componentes.

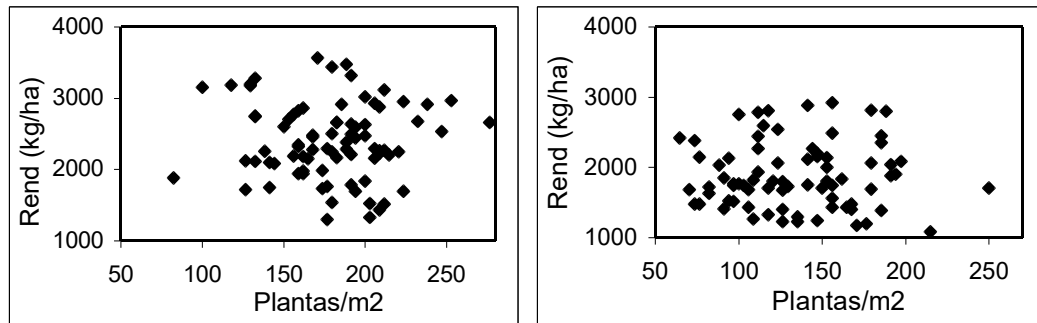


Figura 8. Rendimiento según población a cosecha en Eclipse (izq.) y Master (der.)

Sin embargo esto no fue así, existiendo correlaciones muy bajas de la población con el rendimiento ($R^2 < 6\%$ en Eclipse, $R^2 = 1\%$ en Master), existiendo una gran dispersión como se observa en la figura 8.

A su vez, ésta variable no se asoció con ninguno de los demás parámetros determinados. Esto confirma lo encontrado en diversos trabajos, donde la población no es una variable que, dentro de un rango entre 60 y 200 pl/m², afecte con gran magnitud el rendimiento u otros parámetros de importancia (Pouzet *et al.*, 1995)(Martino *et al.*, 1999).

2.3.3.2.2.- Silicuas por planta

Como se observó en la figura 7, en el híbrido la aplicación de N aumentó la cantidad de silicuas/planta, lo que concuerda con diversos trabajos (Almond *et al.*, 1986; Allen *et al.*, 1972; Sarandón *et al.*, 1996), aunque esto no fue significativo en Master.

Las aplicaciones en momentos tempranos, tanto a siembra como a roseta, causaron incrementos significativos en Eclipse, lo cual coincide con lo propuesto por Sarandón *et al.* (1996), quien afirma que la fracción del potencial de rendimiento dada por las silicuas es definida en las etapas tempranas de desarrollo del cultivo, previo al estado D1.

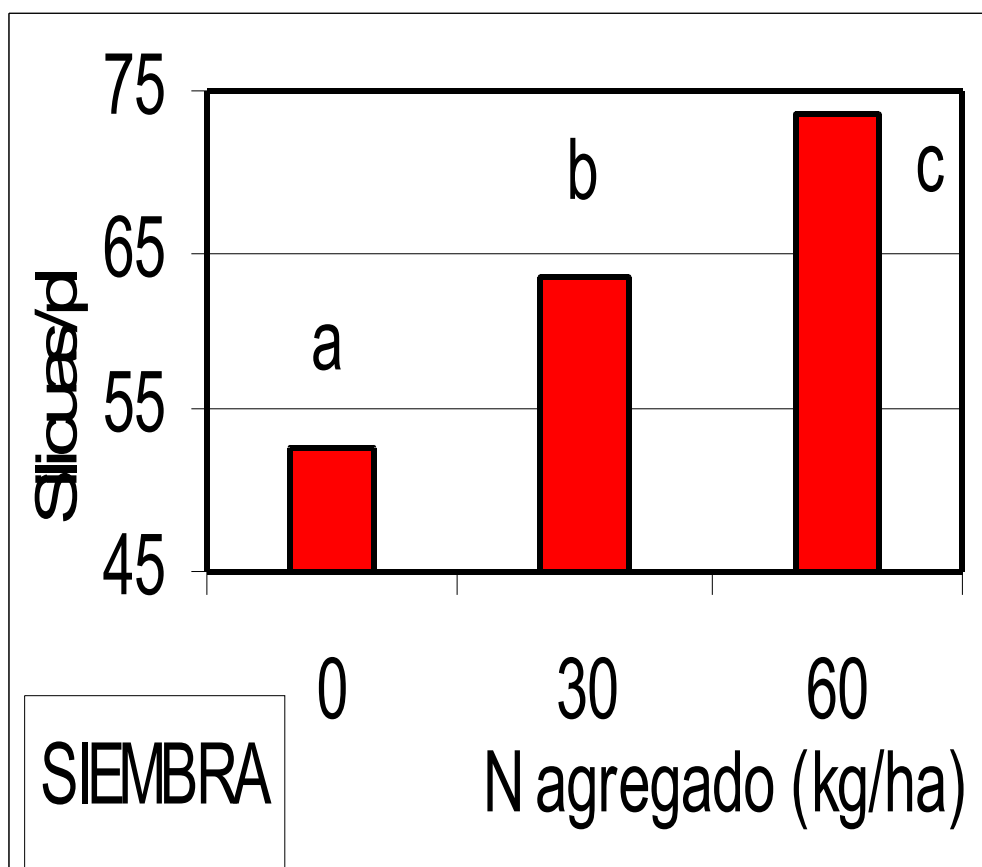


Figura 9. Silicuas/planta según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos.

En Master, las aplicaciones nitrogenadas en ninguno de los tres momentos causaron incrementos significativos (ver figura 9) respecto al promedio de los testigos. Tanto a siembra como a elongación se observó una tendencia a disminuir frente al agregado de 30 unidades de N, no existiendo dicha caída cuando el agregado fue de 60 kg de N. Dicha tendencia fue significativa ($P < 0.05$) frente al agregado de 30 UN a siembra.

Si bien no se encontraron aumentos significativos, existió un incremento de más del 13 % cuando se agregaron 60 kg/ha de N a roseta. Esto concuerda con los resultados obtenidos en ésta variedad, donde los incrementos en rendimiento por agregado de N fueron cerca del doble cuando se realizó a roseta. Probablemente la fertilización a B4 incida directamente sobre la definición de dicho componente, la cual ocurre próximo pasado a ese estadio.

Más allá de los errores de muestreo, éste fue el único componente que se correlacionó significativamente con rendimiento ($r=0.38$; $P<0.0001$) en Eclipse, no encontrándose en el caso de Master.

2.3.3.2.3.- Granos por silicua

La tendencia creciente que se observa en esta variable para ambos materiales con el agregado de nitrógeno (ver figura 10), a pesar de no ser significativas, concuerda con la encontrada en otros trabajos (Sarandón *et al.*, 1996)(Allen *et al.*, 1972). Este comportamiento responde a funciones fisiológicas de la planta. Como se mencionó con anterioridad, la nutrición es un factor importante en determinar el potencial del cultivo; por esto, parece lógica la respuesta de la variable analizada al agregado de nitrógeno: una mayor disponibilidad de dicho nutriente le permite a la planta desarrollar un mayor número de semillas potenciales, que podrán concretarse según las condiciones posteriores.

En Master, con un contenido basal de 16.73 granos/sil, los incrementos que se logran por agregado de N son muy bajos, de 0.905 cada 100 kg de N ($P<0.10$). En el híbrido no se encontraron relaciones significativas.

En Eclipse el único efecto significativo fue encontrado al agregar 60 unidades de N a siembra. En la variedad, si bien no existieron diferencias significativas, la mayor respuesta se dio frente al agregado a roseta. Dichas respuestas vuelven a confirmar lo observado anteriormente, donde la variedad presenta mayores respuestas cuando el agregado es diferido a roseta, mientras que en el híbrido no se determinan diferencias tan claras entre momentos.

La tendencia encontrada en Master coincide con el momento en que según Gómez, 2003, se empieza a generar el número potencial de granos, desde la elongación del ápice, lo que permite pensar que fertilizaciones previas, a fin de roseta puedan incidir en mayor manera.

Más allá de las tendencias encontradas, no hubo grandes incrementos, siendo en su mayoría no significativos y no mucho mayor de 1 grano/silicua. La falta de respuesta de dicho componente al agregado de N coincide con diversos trabajos (Allen *et al.*, 1972; Taylor *et al.*, 1991 y Tamagno *et al.*, 1995 citados por Sarandón *et al.*, 1996; Tamagno *et al.*, 1999)

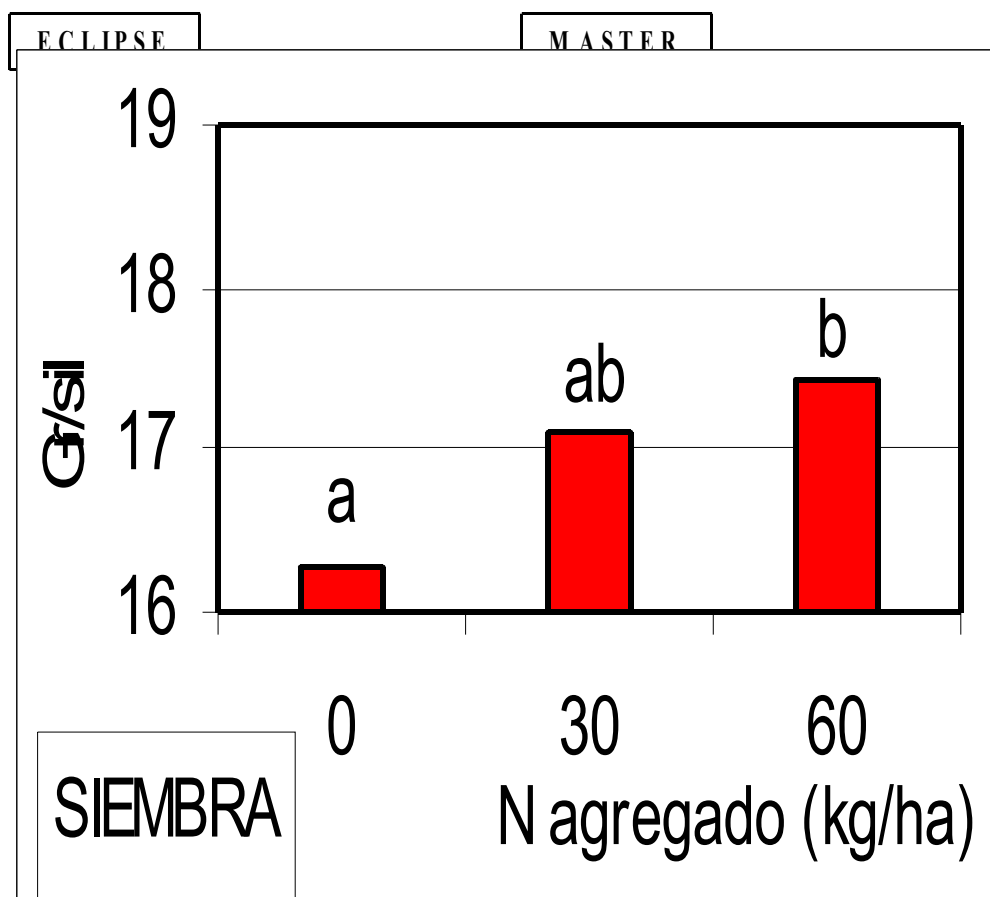


Figura 10. Granos/silicua según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos.

A su vez, en ambos materiales no se encontraron correlaciones significativas de dicho componente con rendimiento.

2.3.3.2.4.- Peso de granos

No se encontró un efecto claro del nitrógeno total agregado sobre el peso de granos. Es un componente muy poco afectado por la disponibilidad del nutriente, incluso en etapas cercanas a floración, tal cual afirma Tamagno *et al.*, 1995 (citado por Sarandón *et al.*, 1996)

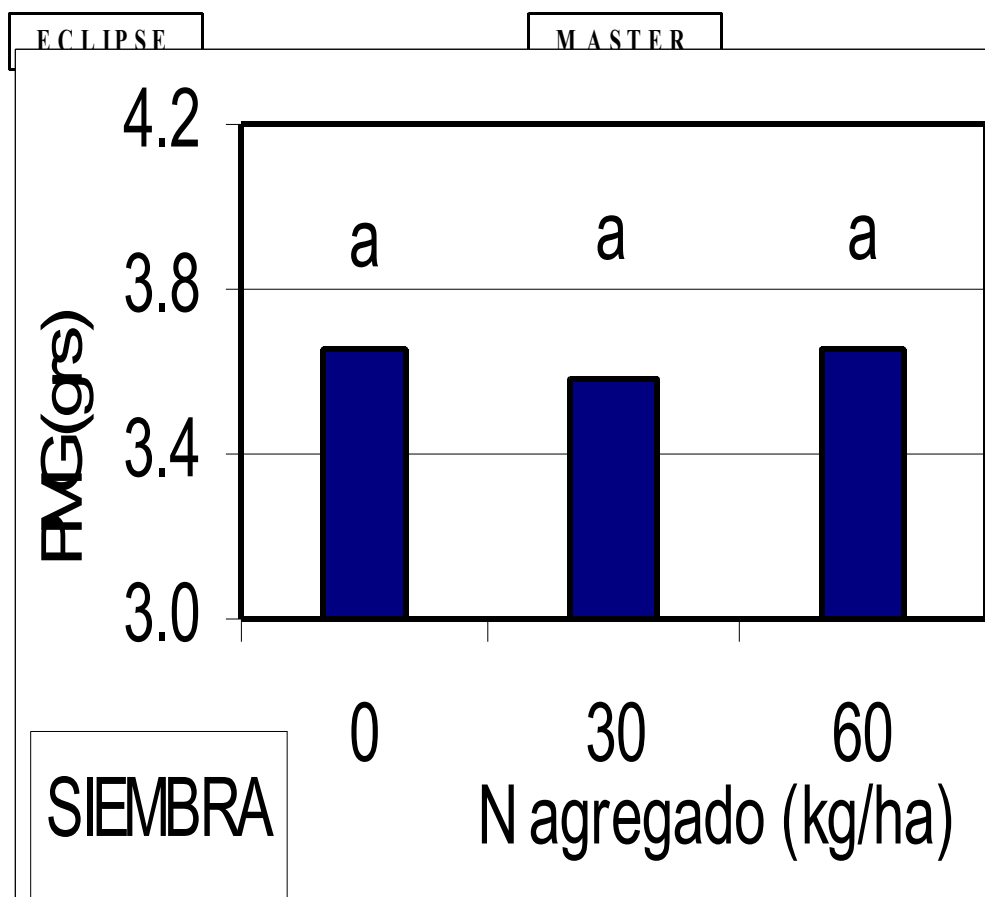


Figura 11. Peso de mil granos según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos.

Como se observa en la figura 11, las variaciones encontradas en el peso de mil granos (PMG) no fueron de gran magnitud, encontrándose diferencias significativas frente al agregado de N solamente en Eclipse. En este material se determinó una disminución en el PMG frente al agregado de N a siembra, lo cual, considerando el incremento respectivo en granos/silicua, podría estar explicado por una mayor competencia por asimilados entre granos de una misma silicua. De hecho, se determinó una correlación negativa ($r = -0.31$) con una significancia elevada ($P = 0.0015$).

A su vez, cuando el agregado de N fue realizado tarde en el ciclo del cultivo, también se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), pero causando incrementos en dicho componente. Dado que el peso de las semillas es el último componente en ser concretado en el ciclo del cultivo, era esperable que un efecto positivo del agregado de

N sea encontrado cuando ocurrió en elongación, donde los demás componentes ya han sido definidos.

En Master, si bien existió una tendencia a que el agregado de N, independiente del momento, disminuyera el PMG, no existieron diferencias estadísticamente significativas. Esto reafirma lo encontrado por Tamagno *et al.* (1999), donde el PMG no es modificado por el fraccionamiento, consecuencia de la gran influencia genética de dicho factor. A su vez, el no haber diferencias entre los valores de PMG coincide con el no haberse determinado incrementos en la cantidad de granos que componen una silicua, y por consiguiente no haber afectado la competencia por asimilados. Sin embargo, existe una correlación negativa entre ambos componentes ($r = -0.27$), que aunque baja, significativa ($P < 0.05$).

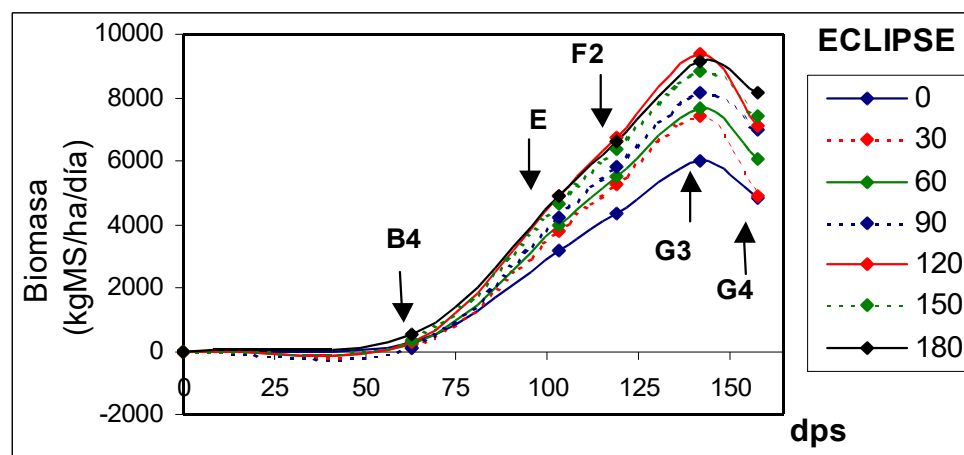
2.3.4.- Influencia del N sobre los parámetros de crecimiento

2.3.4.1.- Biomasa

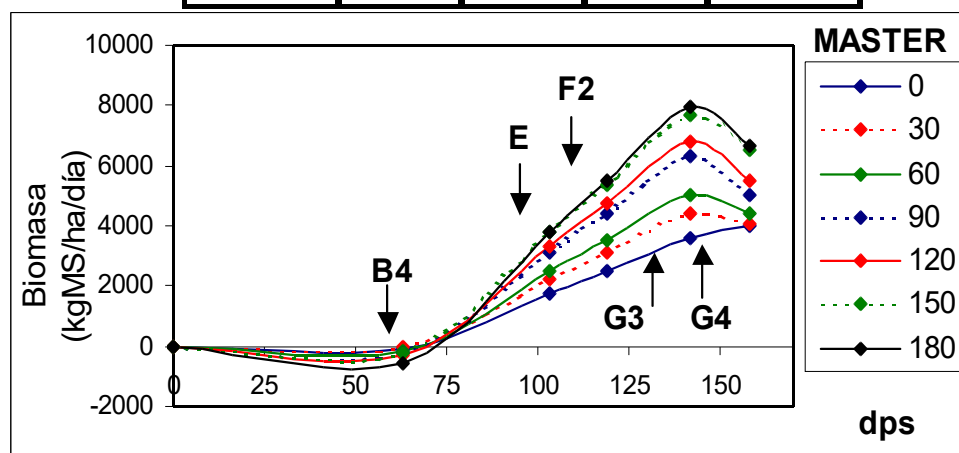
El crecimiento del cultivo siguió un patrón típicamente sigmoide, con un crecimiento inicial muy lento durante el período de plántula y roseta. Posterior a éste, en los períodos de elongación, floración e inicios de llenado de grano, se da una gran acumulación de materia seca, cayendo posteriormente, para el momento de corte, consecuencia de la pérdida de nitrógeno.

Debido a que el ajuste de una curva logarítmica no representa la caída final de biomasa, por ser asintótica a un máximo, y a que dicha caída no es simétrica al incremento previo, que permita ajustar una ecuación cuadrática, es que se ajustó una curva lineal (figura 12).

La emergencia del cultivo se dio a los 14 y 21 días, en Eclipse y Master respectivamente. Una vez emergidas, si bien la variedad permaneció en estadios anteriores para una fecha dada, ambos materiales fueron aproximándose, llegando el 11 de agosto (63 dps) al estadio B4, momento de primer corte de materia seca. Como se observa en la figura 12, el crecimiento inicial en ambos materiales fue considerablemente bajo, acumulando entre 12 y 15 en el caso de Eclipse y entre 5 y 8 kg MS/ha/día, para los valores mínimos y máximos de N agregado, respectivamente. Esa baja acumulación de biomasa puede estar asociada, en parte, a una tasa de emergencia foliar más lenta que en posteriores fases de desarrollo, a diferencia de lo que ocurre con otros cultivos como trigo. Esto puede deberse a un cambio en morfología de las hojas cuando comienza la elongación de tallos, las cuales pasan de pecioladas a sésiles (Miralles *et al.*, 2001).



Ntotal	a	b	R ²	Pr> t
0	-4308	72,5	0,97	0,0170
30	-5781	92,8	0,83	<0,0001
60	-5788	94,9	0,83	<0,0001
90	-6307	102	0,84	<0,0001
120	-6940	114,8	0,89	<0,0001
150	-6482	107,9	0,96	<0,0001
180	-6407	109,6	0,99	0,0051



Ntotal	a	b	R ²	Pr> t
0	-3064	47,0	0,93	0,0376
30	-3607	56,5	0,88	<0,0001
60	-4264	65,6	0,82	<0,0001
90	-5505	83,4	0,87	<0,0001
120	-5975	89,9	0,88	<0,0001
150	-6503	99,9	0,91	<0,0001
180	-7328	107,7	0,89	0,0538

Figura 12. Acumulación de materia seca según días pos siembra (dps) por nitrógeno total agregado

Nota: las ecuaciones ajustadas corresponden al período B4 (63 dps) a G3 (142 dps)

Esto concuerda con lo descrito por Thurling (1974a), donde el cultivo se caracteriza por poseer una prolongada fase de crecimiento temprana, con una relativamente baja tasa de incremento de materia seca. El autor señala una duración relativa de dicha fase del 35 % de la estación de crecimiento, dentro de la cual se acumula, como máximo, el 15 % de la MS a cosecha. En estos ensayos la duración fue del 34 % en Eclipse y 31 % en Master, dada la emergencia más tardía de ésta última. Si bien, esa menor duración de dicha fase en la variedad podría explicar una menor acumulación de MS, ésta fue entre un 4.5 y 5.9 % de la MS a cosecha en Master, mientras que en Eclipse fue de entre 11.9 y 10.1 %, respectivamente para las dosis mínimas y máximas a siembra, diferencias mayores a las que hubieron en proporción del ciclo total a B4.

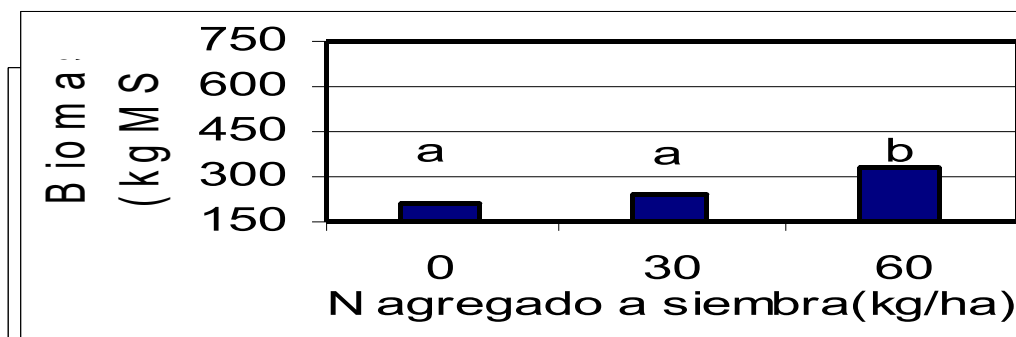


Figura 13. Biomasa a roseta en función de la dosis de N a siembra

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos. Ver valores en Anexo 6

Existe un incremento significativo de la biomasa a B4 frente al agregado a siembra. En Eclipse, el agregado de las primeras 30 unidades de N a siembra resultaron ser más eficientemente utilizadas por el cultivo para la producción de biomasa que cuando se duplicó la dosis, llegando a valores de 7 kg de MS/kg N agregado. En Master la mayor eficiencia en uso de nitrógeno a B4 se obtuvo frente a la dosis mayor, no existiendo aumentos significativos al agregar 30 unidades a siembra (figura 13). Dicho incremento fue de 2 kg de MS/kg de N.

Cuadro 8. Tasa de crecimiento según período del ciclo

ECLIPSE <i>Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)</i>						MASTER <i>Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)</i>					
N total	Em-B4	B4-E	E-F2	F2-G3	G3-G4	N total	Em-B4	B4-E	E-F2	F2-G3	G3-G4
0	12	63	112	86	-94	0	5	29	80	65	1
30	15	76	128	140	-202	30	6	55	57	89	-47
60	15	97	100	149	-143	60	8	59	53	119	-78
90		99	85	179	-136	90		69	88	143	-132
120		108	178	126	-154	120		60	97	158	-144
150			111	157	-117	150			177	118	-91
180			152	112	-123	180			149	190	-163

Luego de dicho período que finaliza en el estado B4, se da la diferenciación y comienzo de elongación de la vara floral, la cual ocurre una semana después de la fertilización a B4 (estado C1), donde el incremento en la tasa de acumulación de biomasa por día asciende notoriamente.

El híbrido pasa de valores de crecimiento máximos del período vegetativo de 15 kg MS/ha/día a tasas de entre 73 y 110 kg MS/ha/día, según el nitrógeno agregado, promedio desde B4 hasta G3. Master, de incrementos máximos de 8 kg MS/ha/día durante el período vegetativo, asciende a tasas de acumulación entre 47 y 108 kg MS/ha/día según N total agregado (ver cuadro 8). Como se observa en la figura 12, el crecimiento de ambos materiales desde B4 y hasta G3 es lineal, y a tasas mayores en función del nitrógeno total agregado.

Tanto en Master como en Eclipse la biomasa al estadio E aumentó significativamente por el agregado de N a siembra y B4, no existiendo un incremento adicional significativo por el agregado de las dosis mayores (ver figura 14). Esto determinó que en este estadio las dosis de 30 unidades de N a la siembra produjeran un incremento de 33.6 kg MS/kg N en Eclipse y 25.9 kg MS/kg N en Master. El agregado de 30 unidades a B4 determinó que fuera utilizado con una eficiencia de 28.4 kg MS/kg N en Eclipse y 16.7 kg MS/ha en Master.

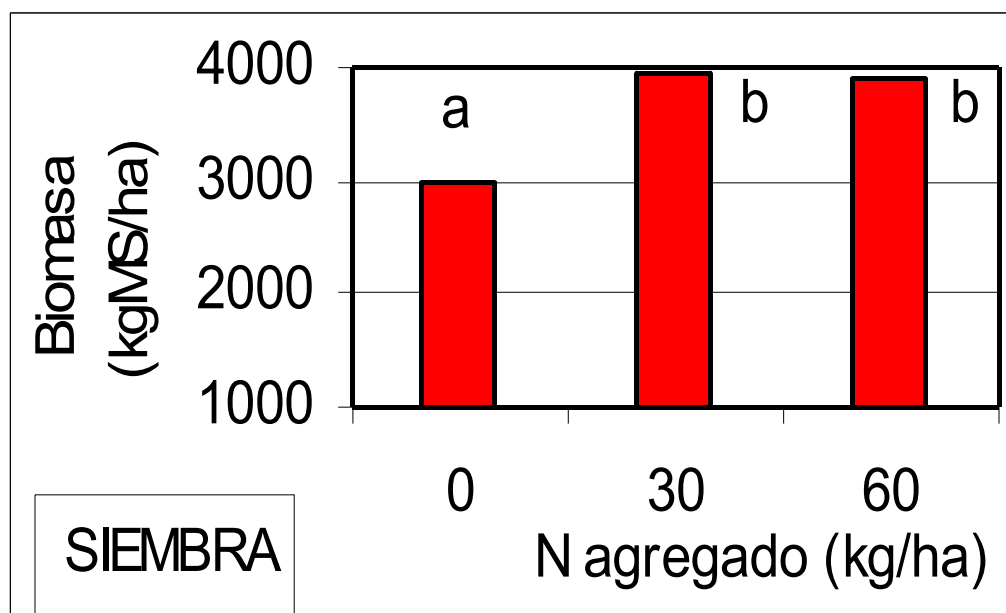


Figura 14. Biomasa al estadio E en función de las dosis de N a siembra y roseta

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos. Ver valores en Anexo 6

El período de B4 a E está constituido por los últimos 7 días del período vegetativo, luego de los cuales se da la diferenciación y pasaje al estadio C1, abarcando el período de elongación de la vara floral hasta el estadio E. Durante este período de 40 días de duración, comprendido principalmente por la primer fase reproductiva del ciclo, el crecimiento del híbrido fue de 63 kg MS/ha/día cuando no se agregó nitrógeno, elevándose hasta 108 kg MS cuando se adicionó 60 unidades de N a siembra y elongación. Dicha distancia entre tasas de crecimiento esta compuesta por tasas crecientes según nitrógeno total agregado.

En ese mismo período, las tasas de crecimiento en Master fueron desde los 29 kg de MS/ha/día, cuando no se adicionó N, siendo crecientes según el total agregado entre los dos momentos previos, llegando al máximo de 69 kg MS/ha/día para una dosis total 90, existiendo una caída al agregar las dosis máximas en ambos momentos.

Los resultados obtenidos de biomasa al estadio E, coinciden con lo propuesto por el Canola Growers Manual (Canola Council, 2003), en el cual se afirma que previo a que el cultivo florezca se produce entre el 30 y 60 % de la materia seca total producida. En Master ésta fue próxima al menor valor, sin grandes variaciones entre tratamientos, mientras que el Eclipse los valores oscilaron entre 36 y 45 % según las condiciones de crecimiento establecidas.

Cuando el cultivo llega al estadio F2, encontrándose en completa floración, ya ha recibido todos los tratamientos nitrogenados realizados, habiendo recibido el último dos semanas atrás. La biomasa producida en dicho estadio es significativamente mayor cuando existió agregado de nitrógeno a siembra y roseta en ambos materiales (figura 15).

En Eclipse, hubo un incremento promedio de 23.9 kg de MS a F2 por cada unidad de N agregadas a siembra ($P < 0.001$), mientras que dicho incremento fue de 14.5 kg MS/kg N agregado a roseta ($P < 0.05$). Esto confirma lo ocurrido en el estadio E, donde la fertilización a siembra incrementó más eficientemente la producción de biomasa que la realizada a B4. La fertilización realizada en el estadio E causó disminuciones significativas frente al agregado de 30 unidades de N, no produciendo cambios significativos en biomasa cuando la dosis fue 60.

En Master, la fertilización a siembra causó, en promedio, incrementos mayores a 17 kg de MS a F2 por cada unidad de N ($P < 0.01$). A floración, los incrementos de 46.8 kg MS/kg N agregado a roseta cuando se utilizó una dosis de 30 unidades, no se mantuvieron estables cuando la dosis fue duplicada, cayendo la eficiencia del uso del nitrógeno a 32 kg MS/kg N, lo que determina que no hayan diferencias significativas en biomasa entre ambas dosis. El agregado de N a elongación causó incrementos significativos, de 30 kg MS/kg N, frente al agregado de 30kg de N/ha, sin embargo no se encontraron efectos significativos del agregado de 60 unidades.

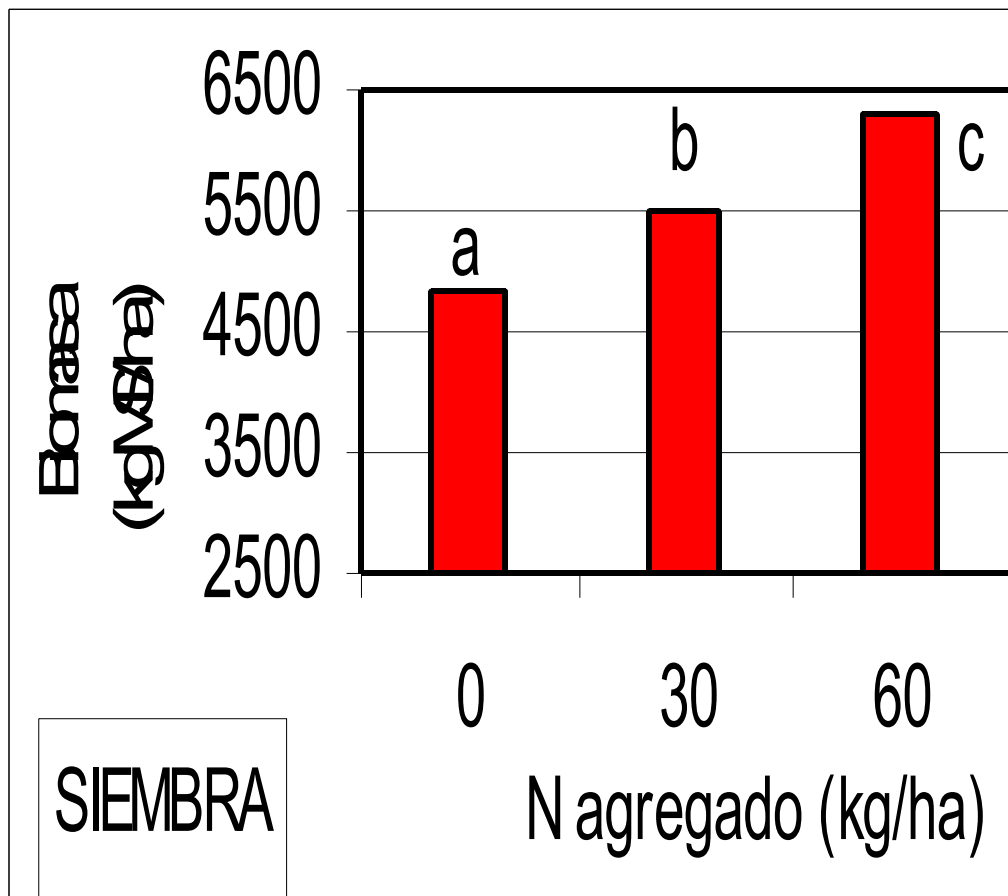


Figura 15. Biomasa a F2 en función de las dosis de N a siembra, roseta y elongación
 Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos. Ver valores en Anexo 6

Esta mayor eficiencia en el uso de nitrógeno agregado a roseta por Master, para la producción de biomasa en este estadio, es coincidente con lo ocurrido en rendimiento, donde roseta resultó ser el momento de mejor uso del N.

En ambos materiales, la respuesta al agregado de N a elongación no fue clara, lo cual podría explicarse por el poco tiempo entre dicha aplicación y el corte de biomasa a F2, donde tan solo transcurrieron 14 días; tiempo que pudo no ser necesario para que se exprese el efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa.

En general, se da un incremento de 14.6 kg de MS/kg de N agregado ($P>0.001$) en Eclipse y 18.4 en Master, independiente del momento de agregado. Este incremento es coincidente con trabajos argentinos, donde al estado G1, la fertilización incrementó el peso de todos los órganos (Sarandón *et al.*, 1996); si consideramos que dicho estadio se inició dos días después de las mediciones de biomasa a F2 que fueron realizadas.

El período de E a F2, se encuentra comprendido por los últimos 6 días del período preantesis y 10 de los 12 días en que transcurre la floración. En este período las variaciones en tasas de crecimiento según el nitrógeno total agregado no siguieron un comportamiento claro.

La tasa de crecimiento del cultivo es determinada, por la tasa de asimilación neta (TAN) y el área foliar, a la vez que ambos componentes son afectados inversamente por el agregado de nitrógeno. El nitrógeno adicional determina un mayor desarrollo de las ramas y por consiguiente un mayor sombreado de las hojas principalmente por las inflorescencias, lo que disminuye la actividad fotosintética y por consiguiente la TAN. A su vez, la elevada tasa de respiración que presentan las inflorescencias pueden disminuir aún más la TAN (Allen *et al.*, 1972). Sin embargo, en este período de floración no existe una respuesta lineal de la tasa de crecimiento al agregado de N, consecuencia de que si bien pudo haber una disminución en la TAN, este nutriente aumenta el IAF, siendo la tasa de crecimiento un balance entre ambos.

Como se observa en el cuadro 8, cuando nunca se agregó nitrógeno la tasa de crecimiento se hizo máxima en este período, siendo de 112 y 80 kg MS/ha/día para Eclipse y Master, respectivamente.

Cuando fue adicionada una cantidad de nitrógeno, el que la tasa de crecimiento de dicho período fuese máxima fue dependiente de la dosis recibida. Igualmente, para la mayoría de las dosis, la mayor tasa de crecimiento encontrada en el ciclo del cultivo corresponde al siguiente período, comprendido entre fin de floración (F2) y G3. Durante este período transcurren los últimos dos días de la floración, a lo que suceden los primeros 21 días de la madurez, donde se forman las silicuas.

Esto concuerda por lo propuesto por Allen *et al.* (1971), quienes afirman que durante la formación de silicuas, si bien se alcanzan los niveles más bajos de IAF, existe un marcado incremento de la tasa de crecimiento, siendo ésta aún mayor que cuando el IAF se encuentra en el máximo. Esto es consecuencia de la formación de tejido fotosintéticamente activo como las silicuas (citado en Allen *et al.*, 1972).

Durante este período de formación de silicuas y semillas e inicio de llenado de granos se obtuvieron tasas de crecimiento incrementales según nitrógeno agregado desde 86 hasta 179 kg MS/ha/día en Eclipse, cayendo cuando la dosis total superó los 90 kg/ha. En el caso de Master, las tasas aumentaron desde 65, llegando hasta 190 kg

MS/ha/día para la dosis de nitrógeno total máxima. En este período, el peso seco de la planta aumenta enormemente consecuencia principal del crecimiento de las silicuas (Allen, *et al.*, 1971 citado por Tayo *et al.*, 1975).

Al estadio G3 (figura 16), donde las semillas ya se han formado y continúan acumulando biomasa, el agregado de N causó incrementos de 15.6 kg MS/kg N ($P<0.01$) en Eclipse, mientras que en Master las fertilizaciones previas causaron incrementos de 29.5 kg MS/kg N ($P<0.0001$). En este momento, el cultivo logra alcanzar la mayor cantidad de biomasa acumulada en todo el ciclo del cultivo, independientemente del tratamiento nitrogenado recibido (figura 12).

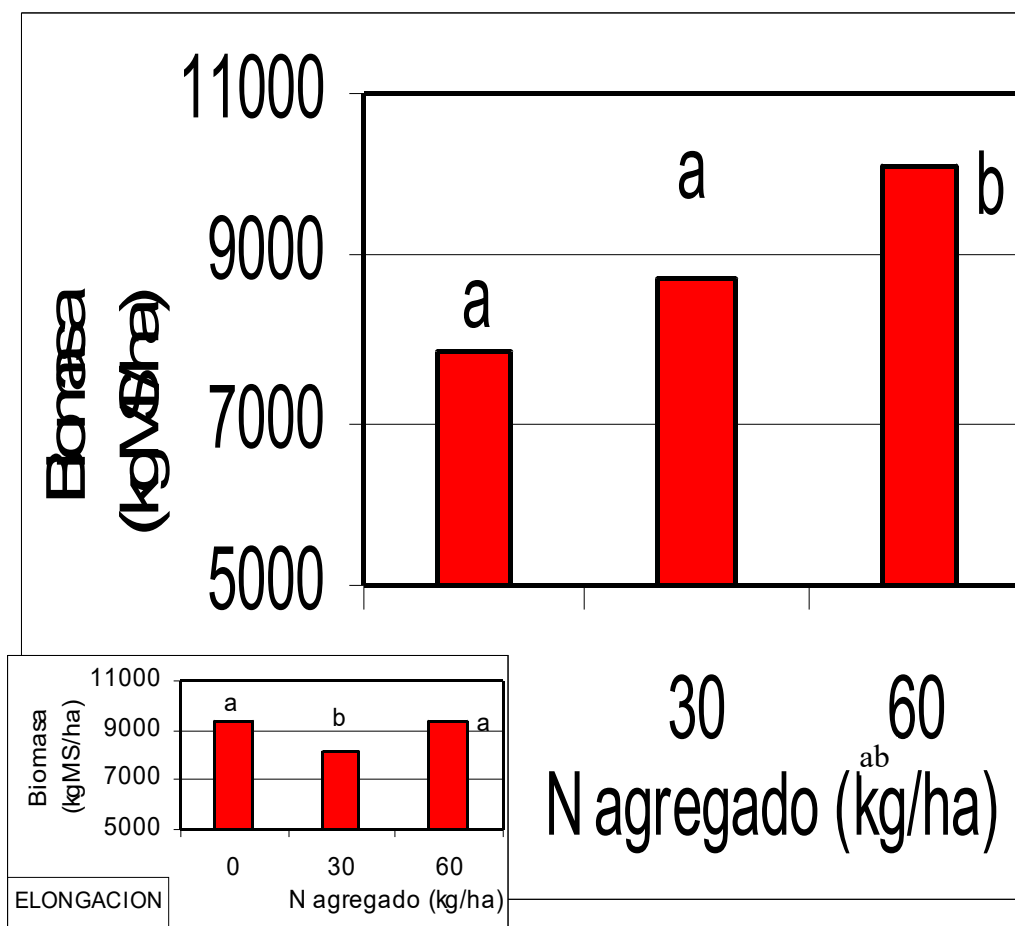


Figura 16. Biomasa a G3 en función de dosis de N a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$) entre dosis y dentro de momentos. Ver valores en Anexo 6

Si bien se determinó efecto significativo del nitrógeno total agregado, en Eclipse la adición a siembra no causó efectos significativos, a diferencia de lo que ocurrió en el anterior momento de corte. Sin embargo, el agregado de 60 unidades de N a roseta causó incrementos significativos, de 37.6 kg MS/kg N. El agregado de una dosis menor a roseta causó incrementos de 27.9 kg MS/kg N, aunque no significativos. La fertilización con 30 unidades a elongación, al igual que sobre la biomasa a floración, causó disminuciones significativas en la biomasa producida a G3, no siendo así frente al agregado de una dosis mayor.

En Master, tanto el agregado de N a siembra como a roseta determinaron incrementos significativos, no siendo así las diferencias entre dosis en cada momento. La eficiencia de uso de las primeras 30 unidades agregadas a siembra fue de 31.7 kg MS/kg N, mientras que cuando fueron agregadas a roseta produjo 62.7 kg MS/kg N. Cuando las dosis fueron de 60 kg N/ha a siembra se incrementaron 23.4 kg MS/kg N, mientras que dicha dosis a roseta incrementó cerca del doble la biomasa a G3, en 46.1 kg MS/kg N. La fertilización a elongación causó incremento menores por unidad de nitrógeno agregada, próximos a los 19 kg MS/kg N.

Desde G3 a G4 se da una gran disminución de la biomasa acumulada en el cultivo (figura 12), la que puede estar explicada en su mayoría por la disminución de área foliar (Allen *et al.*, 1971 citado por Tayo *et al.*, 1975) que ocurre durante el período de crecimiento de silicuas, considerando que el cultivo llegó a cosecha prácticamente sin hojas.

Durante este último período del cultivo de 16 días previos a la cosecha, la biomasa del híbrido disminuyó entre 94 y 202 kg MS/ha/día, mientras que en Master las variaciones fueron desde un incremento de 1 kg MS/ha/día hasta decrementos de 163 kg MS/ha/día.

El agregado de nitrógeno determinó que a cosecha la biomasa en Eclipse se vea incrementada a razón de 19.8 kg MS/kg N ($P < 0.0001$), obteniéndose incrementos en Master de 18.1 ($P < 0.0001$). Sin embargo en Eclipse la biomasa a cosecha respondió con un incremento cuadrático en función del nitrógeno agregado, en mejor manera. Con un R^2 de 0.50, la ecuación de respuesta al nitrógeno ajustada en Eclipse fue:

$$\text{Biomasa G4} = 4143.5 + 40.33 \cdot N_{\text{total}} - 0.1165 \cdot N_{\text{total}}^2$$

Esto puede dar a pensar que los niveles de nitrógeno utilizados hayan permitido explorar el potencial de producción de biomasa del cultivo, aunque en otras variables esto no haya sido así.

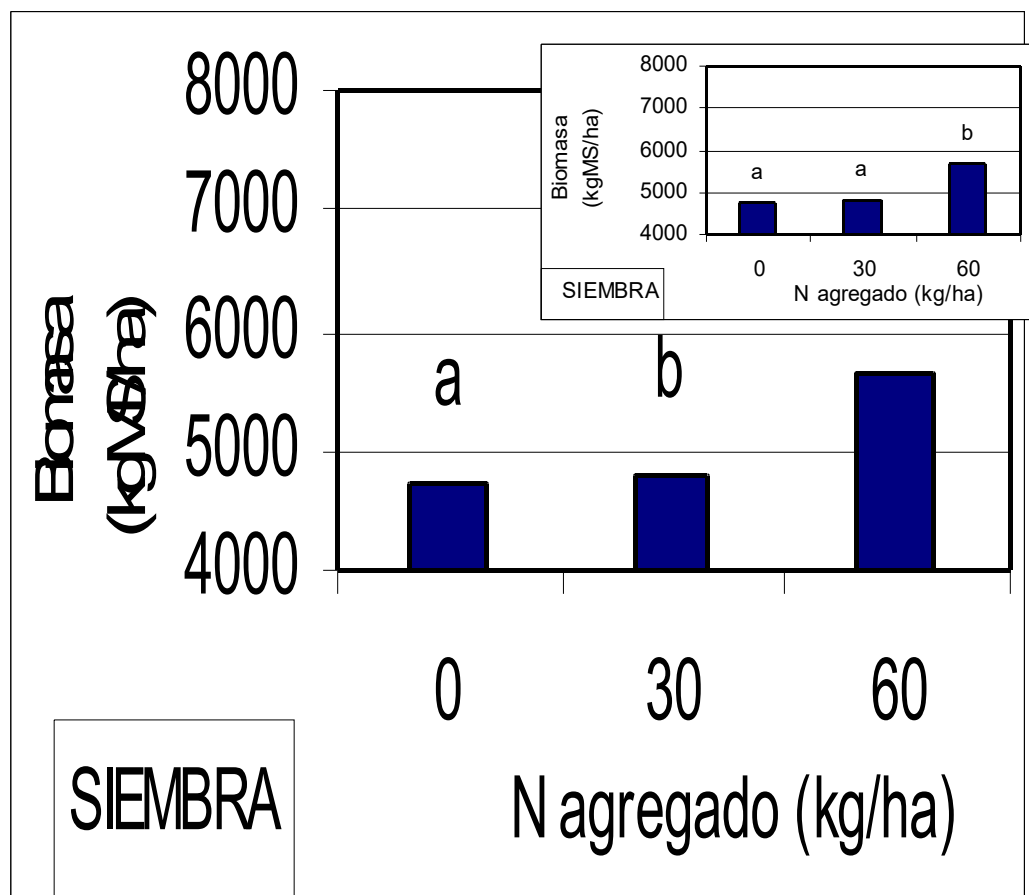


Figura 17. Biomasa a G4 en función de la dosis de N a siembra roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos. Ver valores en Anexo 6

En Eclipse tanto la fertilización a siembra como a roseta causó incrementos significativos en biomasa a G4 (figura 17), encontrándose diferencias entre dosis. Dichos incrementos fueron del orden de 21.1 y 23.9 kg MS/kg N, en siembra y roseta respectivamente. La fertilización realizada a elongación causó incrementos significativos solo frente al agregado de la dosis máxima, con una eficiencia de 12.5 kg MS/kg N agregado.

En Master (figura 17) la respuesta frente al agregado a siembra fue solo significativa frente a las dosis de 60 unidades, causando incrementos de 14.7 kg de MS/kg N. Sin embargo, y como se ha caracterizado en otras variables, se observaron incrementos significativos con el aumento de las dosis a roseta, siendo de 30.8 kg de

MS/kg N. El agregado a elongación, al igual que en Eclipse, causó incrementos significativos solo frente a la dosis 60, produciendo tan solo 8.85 kg MS/kg N.

En ninguno de los dos materiales se encontró interacción ($P < 0.05$) entre los diferentes momentos de aplicación de nitrógeno, lo que hace que el efecto de cada fertilización sobre la biomasa sea independiente de las restantes dos. Este comportamiento se observa en los diferentes momentos de determinación de la variable.

2.3.4.2.- Cobertura

El cultivo cubrió el suelo rápidamente. Los datos de cobertura en este ensayo fueron medidos en un solo momento consecuencia de que se determinó subjetivamente una cobertura casi completa de la superficie previo al momento de medición siguiente. En la figura 18 se observan los valores obtenidos para dicha variable en el estado de roseta para ambos cultivares.

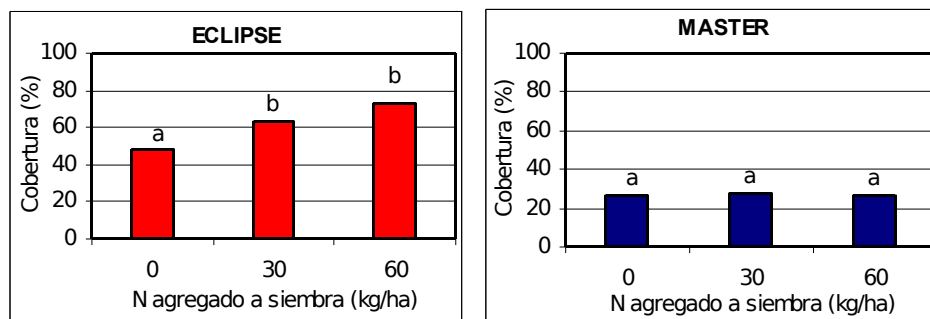


Figura 18. Cobertura a B4 según nitrógeno a siembra para Eclipse y Master

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de variedades.

En el híbrido Eclipse se vieron diferencias en cobertura a roseta según la dosis de nitrógeno agregado a siembra, el cultivo cubrió mejor el suelo cuando se agregó nitrógeno. El incremento no se continuó al agregar 60 kg/ha, donde la cobertura no fue significativamente mayor que al agregar 30 unidades. Esto coincide con los datos de crecimiento analizados antes, donde la respuesta a la fertilización en este período fue similar.

Esta respuesta no se manifestó en Master, para el cual no se encontraron diferencias entre los tratamientos de fertilización. Esto no era esperable desde el momento que se encontraron diferencias tanto en biomasa como en tasas de crecimiento para los mismos tratamientos, y si se tiene en cuenta que en este período el crecimiento esta representado básicamente por las hojas.

Una buena cobertura es importante por varios factores, por ejemplo favoreciendo la pérdida de agua por transpiración en épocas de excesos hídricos y baja demanda atmosférica (com. pers. E. Hoffman). A su vez, produce menor evaporación de agua en el suelo en etapas avanzadas del ciclo del cultivo, favorece el control de malezas (Canola Council, 2003). Si bien no se realizaron determinaciones del nivel de enmalezamiento, el híbrido Eclipse tuvo buen comportamiento competitivo, observándose un bajo desarrollo de las mismas en el período inicial y durante toda la estación de crecimiento.

2.3.4.3.- Área foliar

En la figura 19 se observan los valores de IAF obtenidos para las dos variedades en las etapas iniciales. En Eclipse los menores valores se encontraron con el agregado de 0 y 30 kg/ha de N, mientras que con el suministro de 30 unidades mas, el índice aumenta casi en dos puntos, llegando a valores promedios de 4,7.

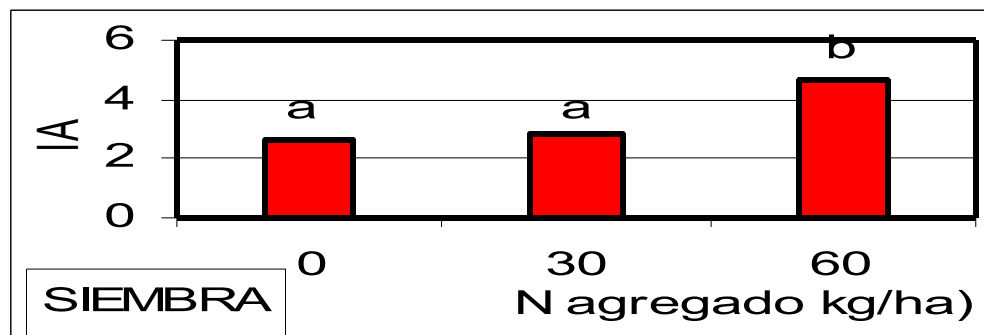


Figura 19. Índice de área foliar (IAF) a B4 según dosis a siembra

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

El valor máximo observado en este material para el estadio de roseta está por encima de lo encontrado en la literatura, donde se citan índices de entre 1 y 2 para el mismo momento (Martino *et al.*, 1999).

En el caso de Master no se obtuvieron diferencias entre tratamientos para el estado de roseta lo que concuerda con lo observado para cobertura pero, como ya se mencionó, no coincide con la respuesta encontrada en biomasa para este período.

La figura 20 corresponde a los valores de IAF obtenidos en el estadio de elongación del cultivo. Esta variable responde al agregado en ambos momentos en el híbrido, mientras que en Master solo se encontraron diferencias para el agregado de distintas dosis a roseta. En ambos casos el efecto fue del agregado de nitrógeno y produciendo un incremento de aproximadamente 50%, sin encontrarse diferencias para las distintas dosis (30 y 60 kg/ha).

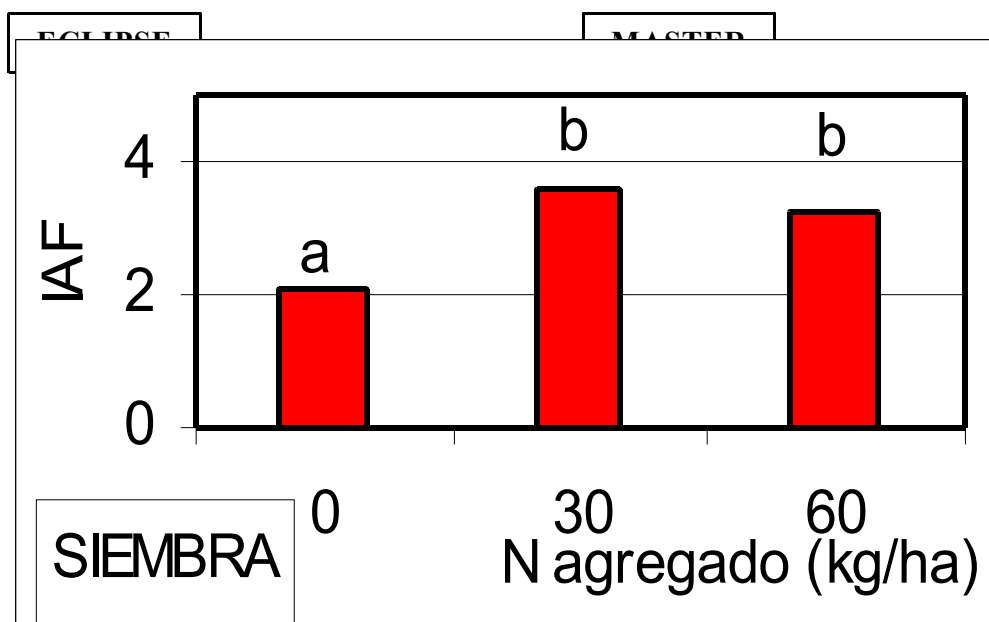


Figura 20. Índice de área foliar (IAF) a E según dosis a siembra y roseta
 Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

En floración, (figura 21) el último estadio en que se midió esta variable, se observó en Eclipse un incremento con similares características que para el momento anterior, respondiendo al agregado de nitrógeno sin influir la dosis con excepción de roseta, donde la respuesta de la variable es lineal a la dosis de N agregada.

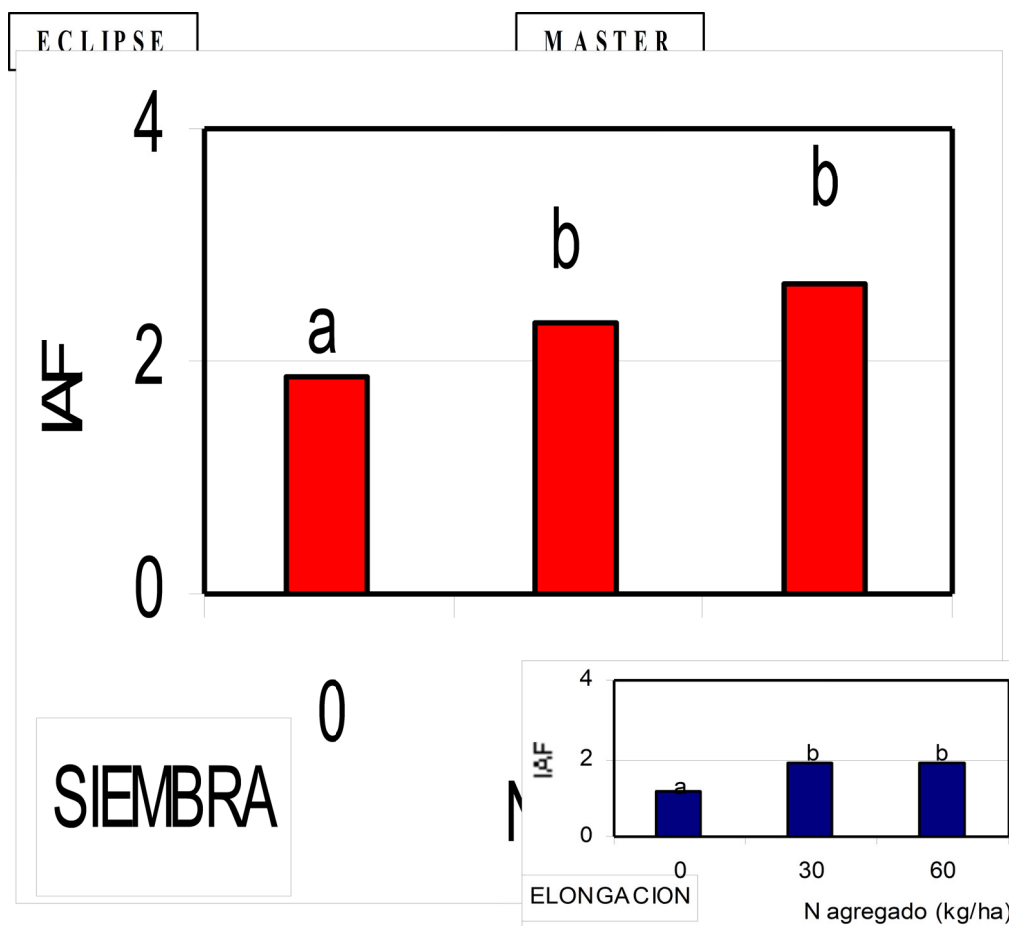


Figura 21. Índice de área foliar (IAF) a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación
 Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Otro factor a tener en cuenta es el momento en el cual se logra el mayor índice de área foliar. Los mayores valores se encontraron en el estadio E para Eclipse, con valores superiores a 4 para las mayores dosis, mientras que para Master las diferencias entre estadios para una misma dosis y momento no son marcadas. Hay que notar que el rango de valores promedios está entre 2 y 4 y entre 1 y 2 para cualquiera de los tratamientos en todos los momentos, para Eclipse y Master respectivamente. Distintos autores mencionan el período preantesis y hasta floración como el momento donde se logra el mayor índice de área foliar, alcanzándose valores de hasta 4, declinando después por efecto de la traslocación de compuestos hacia las flores y frutos (Martino *et al.*, 1999) (Tayo *et al.*, 1975)(Pouzet *et al.*, 1995). Esto concuerda con lo encontrado en Eclipse, si consideramos que la floración comenzó 6 días después de la determinación de IAF a E.

En Eclipse se ajusta un incremento del IAF de 1.4 puntos a F2 cada 100 unidades de N agregadas ($P < 0.0001$). Sin embargo el IAF aumenta desde valores levemente

superiores a 1 hasta índices de 3 cuando el agregado fue de 120 unidades, no determinándose mayores incrementos por la adición de dosis mayores a ésta última. En el caso de Master los incrementos fueron de 0.75 puntos de IAF por cada 100 kg/ha de nitrógeno agregado.

2.3.4.4.- Altura a floración

Esta variable fue medida a F2, 105 y 98 días posterior a la emergencia de Eclipse y Master respectivamente, dado que según Gómez *et al.*, 1983, la determinación presenta utilidad cuando es realizada posterior a los 100 días pos emergencia, luego de los cuales el ordenamiento en alturas entre los tratamientos se mantiene.

La altura de planta para ambos materiales respondió en forma lineal al agregado de nitrógeno, aumentando poco menos de 20 cm cada 100 kg de N agregados (figura 22) y presentando elevada correlación con rendimiento (Eclipse $r=0.702$, $P<0.0001$; Master $r=0.631$, $P<0.0001$). Si bien esta variable no tiene relación directa con el rendimiento, puede favorecerlo de forma indirecta a través de la competencia, reacciones frente al estrés hídrico y facilidad de cosecha (Gómez *et al.*, 1983).

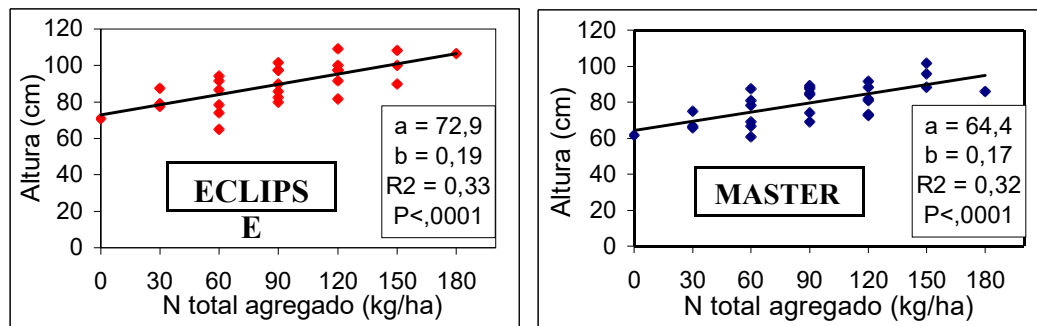


Figura 22. Altura de planta a F2 según nitrógeno total agregado para los dos materiales

Las alturas de ambos materiales en este estadio oscilaron entre 60 y 120 cm lo cual coincide con las características de esta especie (Canola Council, 2003). Esta respuesta coincide con ensayos de Allen *et al.* (1971) (citado por Allen *et al.*, 1972), donde las mayores diferencias morfológicas entre distintos tratamientos con nitrógeno fueron encontradas en altura, área foliar y desarrollo de ramas.

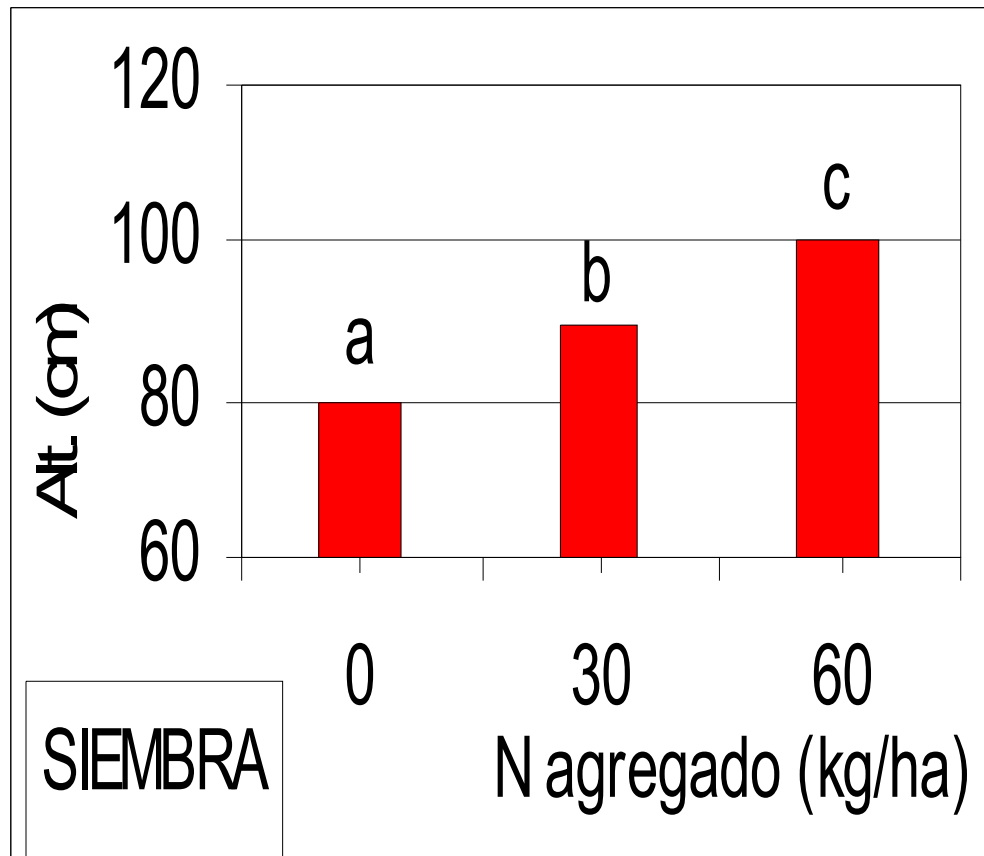


Figura 23. Altura de las plantas a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre dosis y dentro de momentos para cada cultivar.

En la figura 23 puede observarse el efecto de los distintos momentos y dosis de fertilizante sobre la altura. En ambos casos hay un claro efecto incremental de la dosis tanto a siembra como a roseta, ajustándose un incremento cada 100 kg de N agregado a siembra de 33.6 cm ($P < 0.0001$) en Eclipse, el cual cae a 25.6 cm ($P < 0.0001$) cuando dicha dosis es agregada a roseta. El incremento ajustado para dicha dosis en Master fue 19.3 cm cuando fueron adicionados a siembra, mientras que con el agregado a roseta asciende a 32.3 cm, mostrando nuevamente al mayor respuesta encontrada a roseta para esta variedad.

Las fertilizaciones a elongación no produjeron incrementos en altura de las plantas. Es posible que dicha variable se encuentre afectada principalmente por las fertilizaciones tempranas, coincidentemente con lo encontrado por Díaz *et al.* (1995),

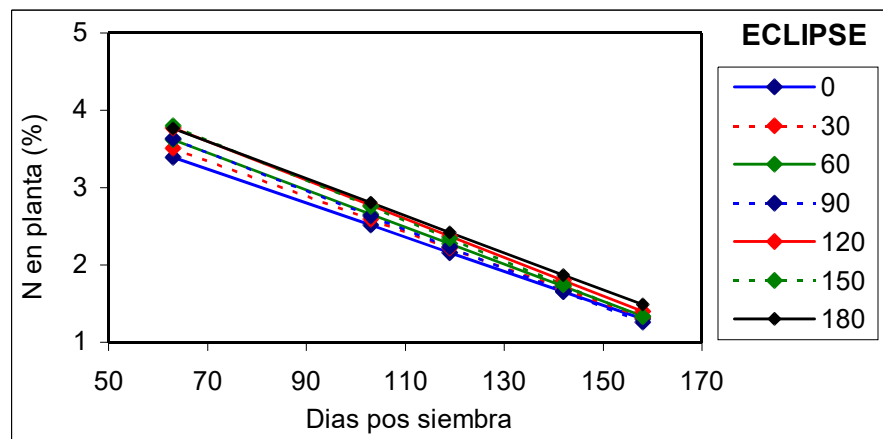
donde no se obtuvieron respuestas en altura a la refertilización tardía (20 de setiembre) en ensayos sembrados a principios de junio. El comportamiento expresado por ambos cultivares puede deberse al hecho de que las fertilizaciones tempranas son las que favorecen el crecimiento inicial y el desarrollo del área foliar la cual va a estar determinando el crecimiento posterior del cultivo.

2.3.4.5.- Nitrógeno en Planta

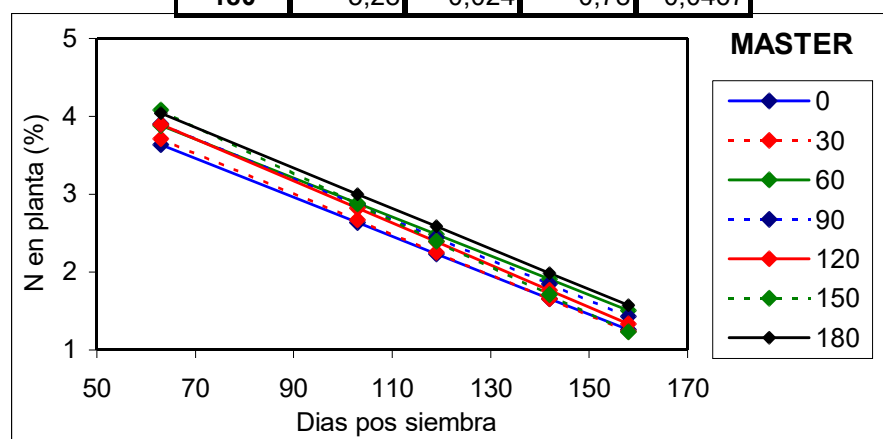
2.3.4.5.1.- *Proporción de la biomasa*

El contenido de nitrógeno en planta, como porcentaje de la materia seca total producida, fue mayor cuando ambos materiales se encontraban en B4 (figura 24). Esto se debe fundamentalmente a que la mayor cantidad de materia seca se encuentra depositada en las hojas (Canola Council, 2003).

Comparativamente con los datos encontrados en el Canola Growers Manual (5-6%) (Canola Council, 2003), los valores determinados estarían por debajo de los mismos, sin embargo debemos considerar que son valores asociados al estado de roseta, mientras que el estadio B4 se encuentra al final de dicho período. Según Rollier (1970) (citado por Almond *et al.*, 1986), el momento de mayor contenido de N coincide con el de roseta, oscilando entre 3.5 y 4.8 %, sin embargo los valores correspondientes a fin de roseta son considerablemente menores a los encontrados a B4 en este ensayo.



Ntotal	a	b	R ²	Pr> t
0	4,78	-0,022	0,82	0,0340
30	4,96	-0,023	0,78	<0,0001
60	5,13	-0,024	0,76	<0,0001
90	5,21	-0,025	0,82	<0,0001
120	5,35	-0,025	0,77	<0,0001
150	5,44	-0,026	0,80	<0,0001
180	5,28	-0,024	0,78	0,0467



Ntotal	a	b	R ²	Pr> t
0	5,21	-0,025	0,88	0,0183
30	5,35	-0,026	0,77	<0,0001
60	5,46	-0,025	0,82	<0,0001
90	5,54	-0,026	0,80	<0,0001
120	5,6	-0,027	0,79	<0,0001
150	5,97	-0,03	0,86	<0,0001
180	5,68	-0,026	0,81	0,0382

Figura 24. Concentración de N (%) en planta según días pos siembra por N total agregado.

Nota: las ecuaciones ajustadas corresponden al período B4 (63 dps) a G4 (158 dps)

Cuando el cultivo se encontraba en dicho estadio, la única fertilización recibida fue la realizada a siembra, la cual explicó el 84 % de la variación de la concentración de N encontrados en Eclipse y el 67 % de la variación encontrada en Master.

A pesar de esto, solo se encontraron incrementos significativos en el porcentaje de nitrógeno en planta en Eclipse ($P<0.05$) y Master ($P<0.10$) frente al agregado de la mayor dosis a siembra (figura 25). En ambos materiales los valores ascendieron a razón de 0.89 puntos porcentuales cada 100 kg de nitrógeno agregado a siembra ($P<0.05$).

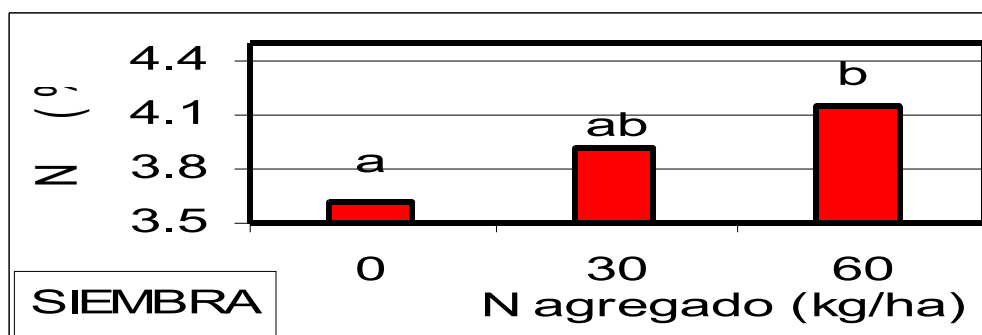


Figura 25. Concentración de N (%) en planta a B4 según dosis a siembra

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Como se observa en la figura 24, el contenido de este nutriente (como % de MS) en planta entera disminuye a medida que el cultivo se desarrolla. Esta disminución ocurre consecuencia del crecimiento de las plantas, el cual incrementa luego del estado de roseta, disminuyendo la concentración del nutriente, donde los tallos comienzan a conformar gran proporción de la materia seca total (Canola Council, 2003). La concentración de N en todos los órganos, excepto las semillas, disminuye durante el crecimiento del cultivo, consecuencia del efecto de dilución ocasionado por una mayor tasa de acumulación de materia seca que de nitrógeno (Chamorro *et al.*, 2002).

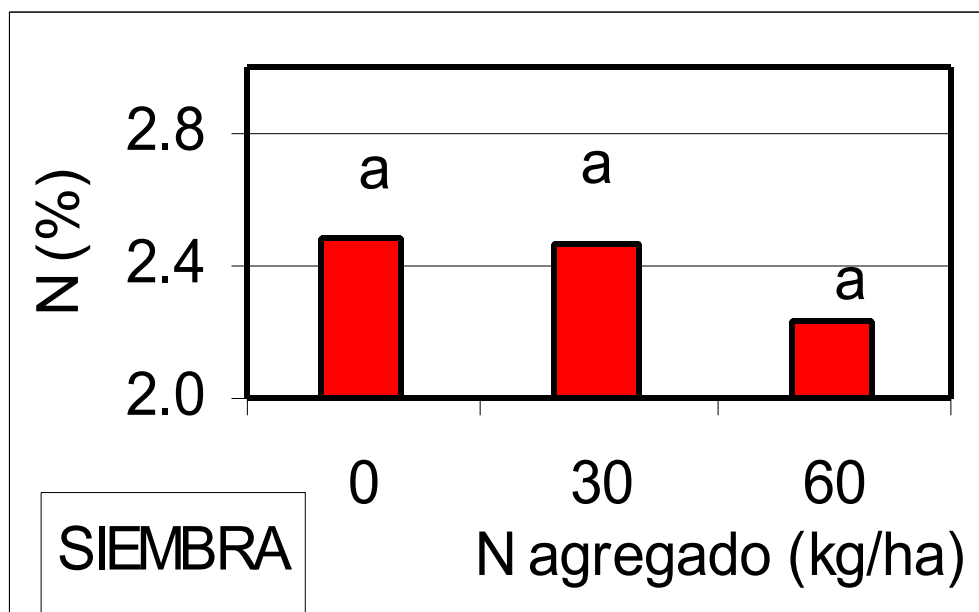


Figura 26. Concentración de N (%) en planta a E según dosis a siembra y roseta
 Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

En Eclipse se ajusta una disminución mensual de la concentración de N en planta de entre 0.66 y 0.78 %, según N total agregado, siendo en Master de entre 0.75 y 0.9 %.

Por consiguiente a lo anteriormente dicho, los valores de nitrógeno encontrados al estadio E fueron menores (figura 26). Para ese momento, el cultivo ya ha recibido tanto las fertilizaciones realizadas a siembra como a roseta. Sin embargo ninguna de las dos causaron diferencias significativas en los porcentajes del nutriente a elongación. Esto no coincide con el trabajo de Chamorro *et al.* (2002), donde se determinó efecto de la fertilización sobre la concentración de N en planta en diversos estadios del cultivo, como D1, G1 y G5.

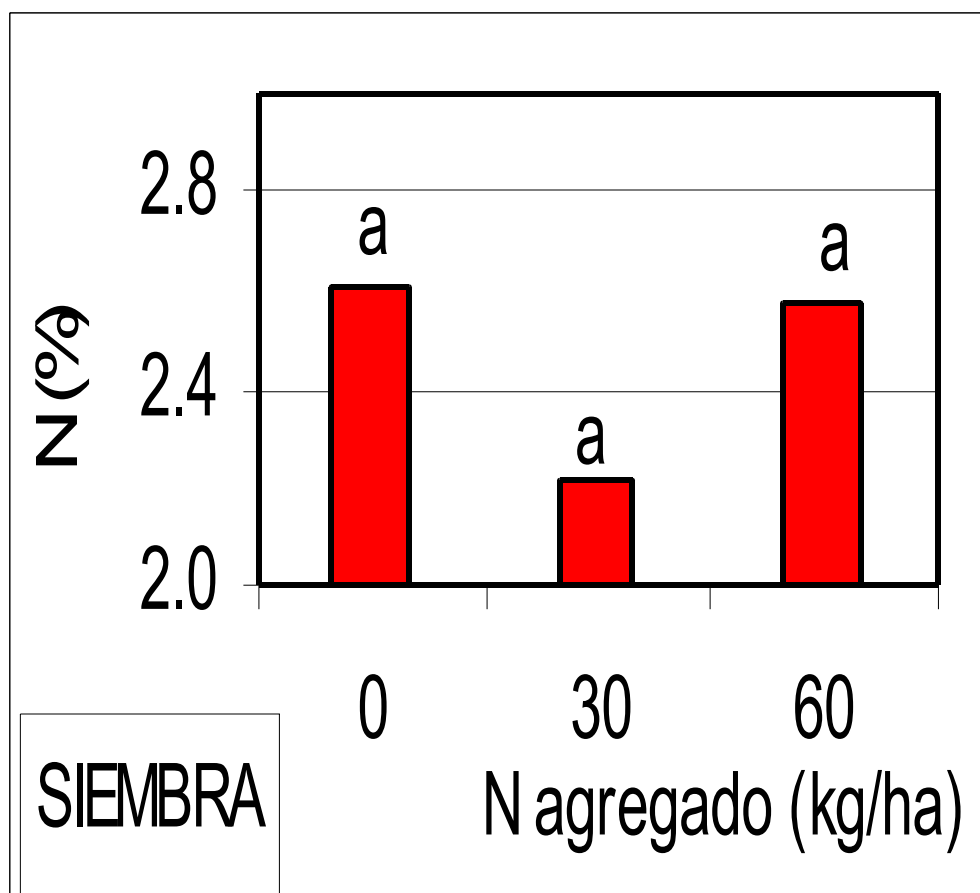


Figura 27. Concentración de N (%) en planta a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuando el cultivo se encuentra en floración completa (F2), ya han sido realizado todos los tratamientos nitrogenados. En dicho momento, al igual que en el anterior, no se determinaron efectos significativos por el agregado de nitrógeno a siembra ni a roseta, sobre el contenido de nitrógeno en planta. Sin embargo, el agregado de nitrógeno a elongación causó incrementos significativos en ambos materiales (figura 27).

En Eclipse el incremento fue significativo solo frente a la mayor dosis, respondiendo a razón de 0.89 % cada 100 kg de N agregado a elongación ($P < 0.05$). En Master el incremento fue significativo frente al agregado de N en dicho momento, independientemente de la dosis, con un incremento de 1.52 % de N en planta cada 100 kg de N agregado a E ($P < 0.0001$).

Si bien en ambos materiales no se encontraron mayores diferencias significativas según el nitrógeno total agregado, en Master existe una tendencia donde se ajusta un incremento de 0.54 % de N en planta cada 100 kg N agregado ($P < 0.05$). Para una dosis total de 180 unidades de N se determinaron contenidos promedio máximos de 3.06 % de N, a la vez que los menores valores fueron determinados para el testigo, con 1.93 %. Según Rollier (1970), los valores a floración rondan entre 1.5 y 2.5 %, mientras que en el Canola Growers Manual los valores oscilan entre 2.5 y 3.5 % (citado por Almond *et al.*, 1986).

La concentración de N a floración encontrados en este ensayo podrían ser considerados suficientes, exceptuando el testigo de Master, de acuerdo a lo considerado por Grant *et al.* (1993), quienes proponen que contenidos inferiores a 2 % indicarían deficiencia, a la vez que los superiores a 5 % indicarían exceso.

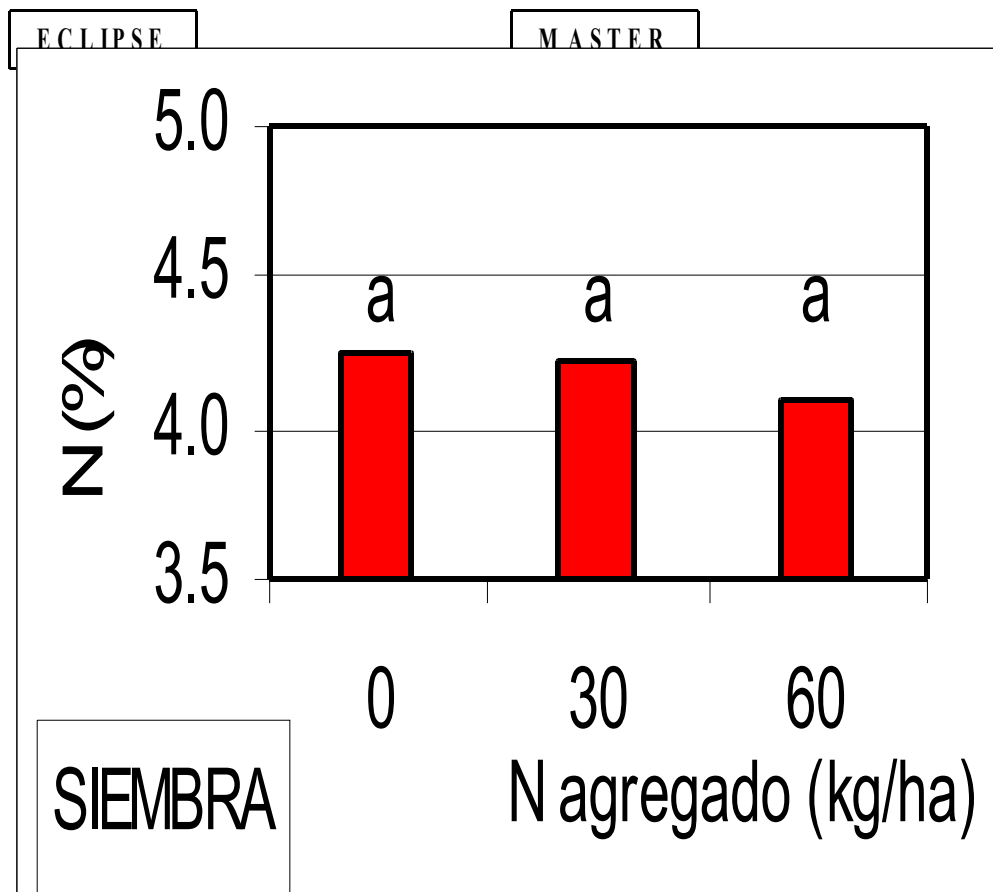


Figura 28. Concentración de N (%) en hoja a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Determinaciones del contenido de nitrógeno en hoja realizadas también a F2, confirmaron el efecto del agregado de nitrógeno sobre dicha variable. En Eclipse se ajustó un incremento de 1.03 % N/100 kg N agregados ($P<0.0005$), sobre una base de 3.26 % de N en hoja. En Master el incremento fue de 0.76 % N/100 kg N agregados ($P<0.0001$) sobre una base de 3.7 % de N.

Como se observa en la figura 28, en ambos materiales a medida que la fertilización es realizada más próxima a el momento de determinación del contenido de N en hoja, más efecto tiene sobre el mismo. No se determinó efectos significativos por el agregado a siembra, mientras que el agregado de la mayor dosis a roseta causó incrementos significativos. Cuando la fertilización fue realizada a elongación, el contenido de N en hoja se vio incrementada tanto por el agregado de N como por el aumento de la dosis, siendo de 0.023 y 0.014 % N/kg N agregado a E en Eclipse y Master, respectivamente.

El contenido de nitrógeno en hojas en Eclipse fue la única medida de nitrógeno en tejido vivo que se correlacionó con rendimiento, siendo ésta de 0.63 ($P<0.0001$). Esto posiblemente se deba a la gran movilidad y variabilidad del nutriente dentro de la planta, a la vez que a floración los mayores niveles de N se encuentran en las hojas (Martino *et al.*, 1999).

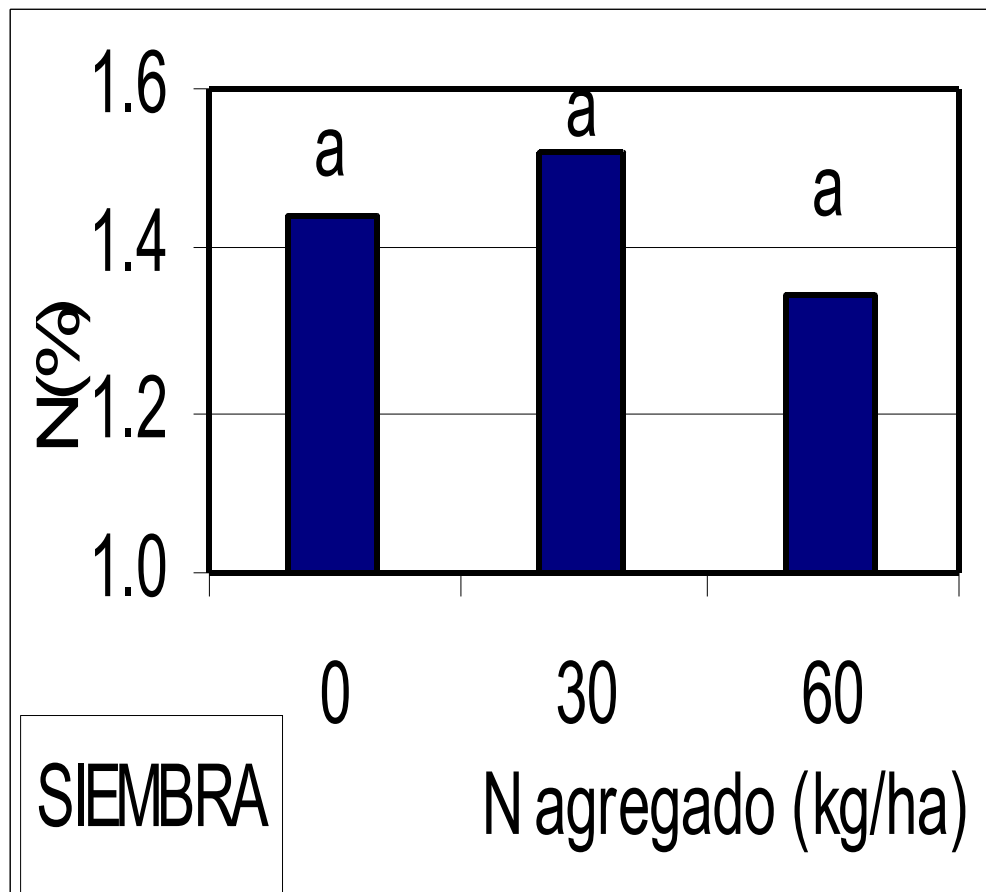


Figura 29. Concentración de N (%) en planta a G3 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Cuando el cultivo llega al estadio G3 no se detecta un efecto claro de la fertilización nitrogenada total previa sobre el contenido de nitrógeno en planta a dicho estadio. Tampoco se determinó un efecto claro del agregado de N en ninguno de los tres momentos sobre dichos porcentajes a G3, como se observa en la figura 29, a excepción de la fertilización a elongación realizada en Master. Esta incrementó significativamente la concentración independientemente de la dosis, ajustándose un incremento de 0.48% cada 100 kg N a elongación. La falta de respuesta no es coincidente con lo determinado por Chamorro *et al.* (2002), donde si bien no fueron determinados los contenidos a G3, si lo fueron a G1 y G5, encontrándose efecto positivo del agregado de nitrógeno sobre la concentración de dicho nutriente en ambos estadios.

Cuando el cultivo llegó a cosecha (G4) se determinó un incremento de 0.123 % en la concentración de N cada 100 kg de N recibidos ($P<0.05$) en Eclipse, mientras que en Master no se ajustó un efecto claro por el agregado de N. En ésta variedad, se determinó una disminución de dicho nutriente frente al agregado de N a siembra de 0.41 % cada 100 unidades ($P<0.05$), no observándose un efecto claro en el híbrido.

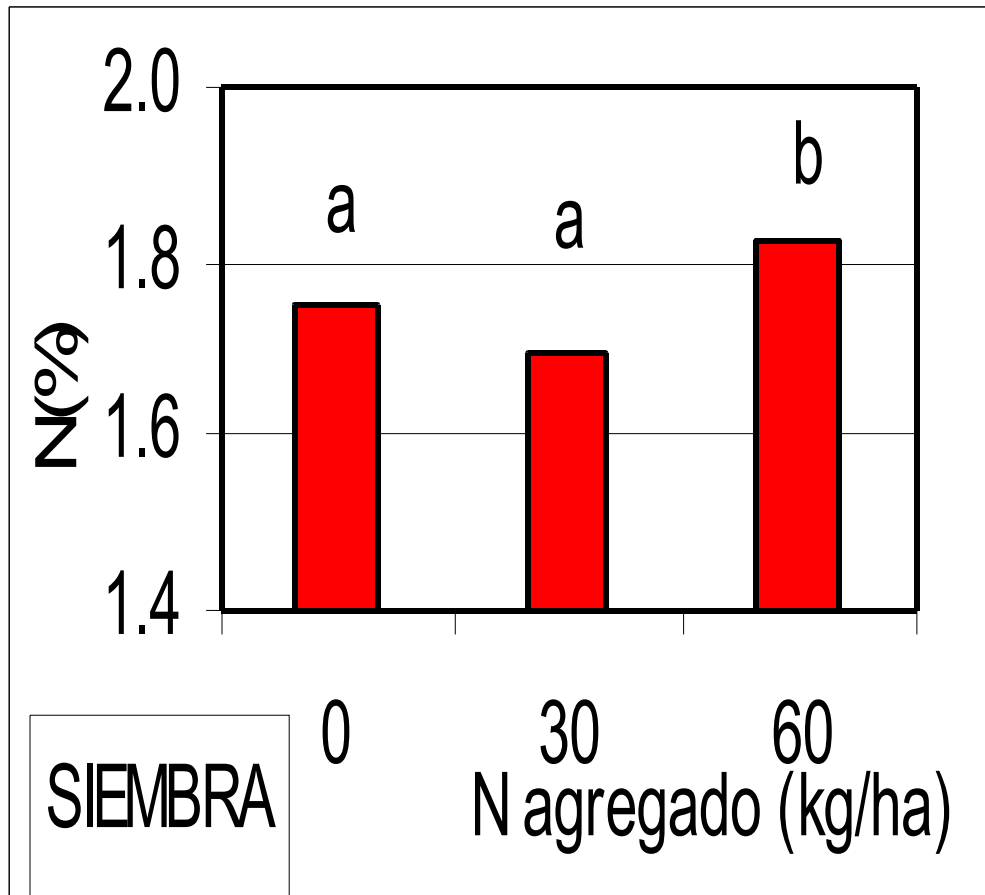


Figura 30. Concentración de N (%) en planta a G4 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Dicha disminución puede ser atribuible en gran parte a la ocurrida en los valores del grano. En ambos materiales la fertilización a roseta no produjo cambios sustanciales en la concentración de dicho nutriente, lo que puede deberse a que si bien el agregado en dicho estadio incrementó la cantidad de N absorbido (figura 30), esta fue diluida por un incremento respectivo en biomasa frente a dicho agregado. Por el contrario, la fertilización a elongación causó incrementos significativos en Eclipse, de 0.19 % cada

100 kg de N ($P<0.05$), a la vez que si bien no lo fueron en Master, sí existió dicha tendencia.

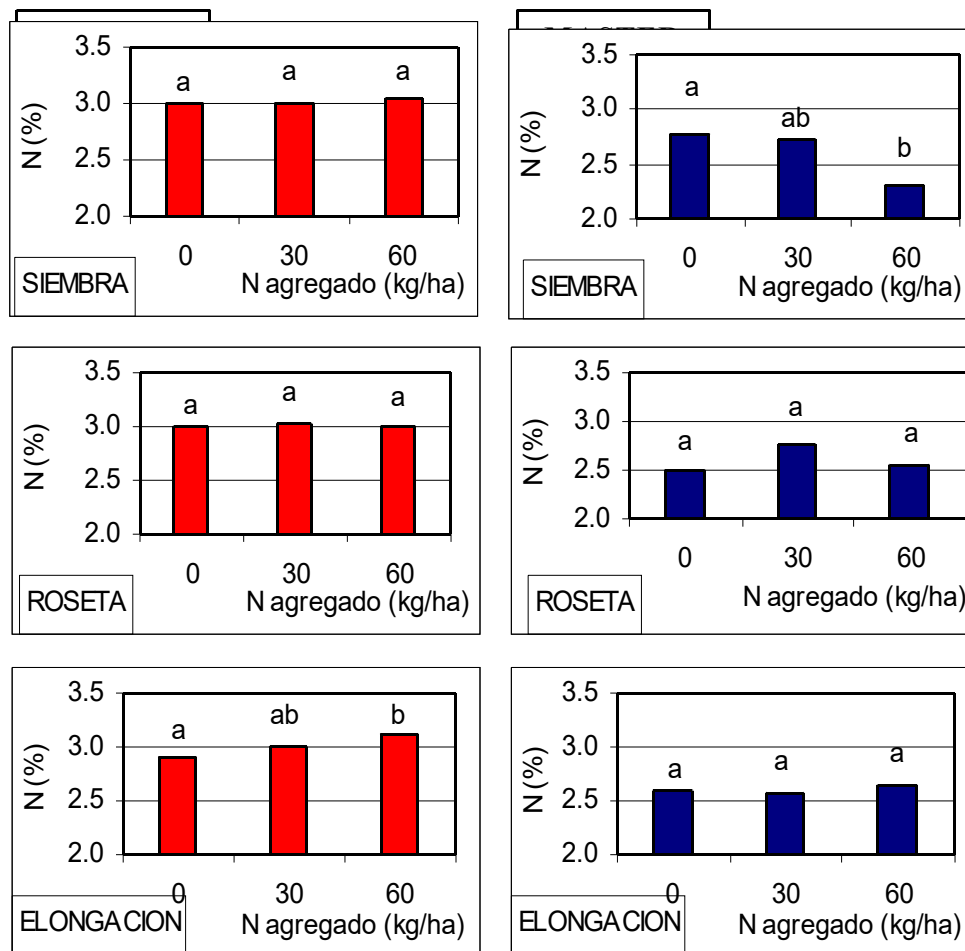


Figura 31. Concentración de N (%) en grano a cosecha según N agregado a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$) entre dosis y dentro de momentos.

En el contenido en nitrógeno del grano, si bien no se determinaron mayores diferencias, se ajustó un incremento de 0.135 puntos porcentuales cada 100 kg N/ha ($P<0.05$) en Eclipse, no ajustándose una relación en Master. Tanto la fertilización a siembra como a roseta no afectaron significativamente dichos porcentajes en el híbrido, rondando valores del 3 % de N en grano (figura 31). Sin embargo, y como era esperable, la fertilización más tardía fue la que tuvo efecto positivo sobre la proteína en grano. Se determinaron incrementos significativos ($P<0.10$) entre las tres dosis a elongación, ajustándose un incremento en el contenido de N en grano de una décima porcentual cada

30 kg de N agregado a E ($P<0.001$), lo que significa un incremento de más de 2 % en el contenido de proteína del grano cada 100 kg agregados a elongación.

El contenido de N en el grano de la variedad Master no se vio afectado por el agregado de N a roseta, al igual que como fue determinado en el híbrido. Sin embargo las fertilizaciones tardías no tuvieron efecto sobre dichos porcentajes. Lo que si afectó la concentración de este nutriente en planta fue el agregado a siembra, el cual disminuyó 0.77 % cada 100 kg de N/ha a siembra ($P<0.05$).

2.3.4.5.2.- Cantidad almacenada

La fertilización a siembra causó incrementos significativos en la cantidad de nitrógeno acumulada a B4 en Eclipse, no existiendo mayores incrementos por el aumento de la dosis. Cuando el agregado fue de 30 unidades de N, el 25.5 % del mismo fue acumulado en la parte aérea de la planta durante los 49 días posteriores a la emergencia del cultivo.

Como se observa en la figura 32, no se determinaron efectos significativos de la fertilización a siembra sobre el nitrógeno acumulado a B4 en Master. Lo mismo puede deberse al poco desarrollo logrado durante esos 41 días pos emergencia, con una baja acumulación de biomasa que haya determinado una menor absorción del nutriente. A su vez, transcurrieron 21 días en el que el nitrógeno agregado estuvo completamente libre a perderse por distintos mecanismos sin que el cultivo esté presente. El incremento de N acumulado no superó el 2 % de lo agregado ($P<0.05$).

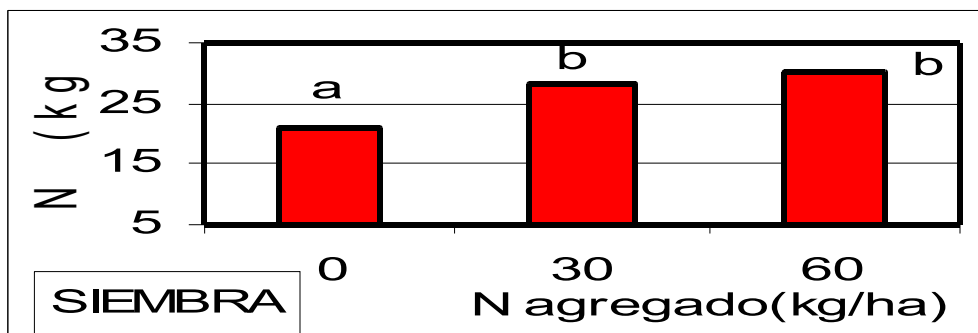


Figura 32. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a B4 según dosis a siembra

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$).

El nitrógeno total acumulado al estadio E en ambos materiales siguió el comportamiento de acumulación de materia seca frente al agregado de N a siembra y roseta, considerando que la concentración no sufrió cambios significativos. Tanto el agregado de 30 unidades a siembra como a roseta causaron aumentos significativos en el

N acumulado en ambos materiales, no existiendo diferencias por el agregado de 30 unidades más en ninguno de los dos momentos (figura 33).

La adición de las primeras 30 unidades de N a siembra determinó que cuando Eclipse llegó al estadio E hubiera acumulado el 81 % de dicha dosis en la parte aérea, siendo dicha acumulación del orden del 51 % de la misma para Master.

El 84 % en Eclipse y el 68 % en Master, de las 30 unidades agregadas a roseta, fueron acumuladas en la parte aérea de las plantas cuando éstas llegaron al estadio E.

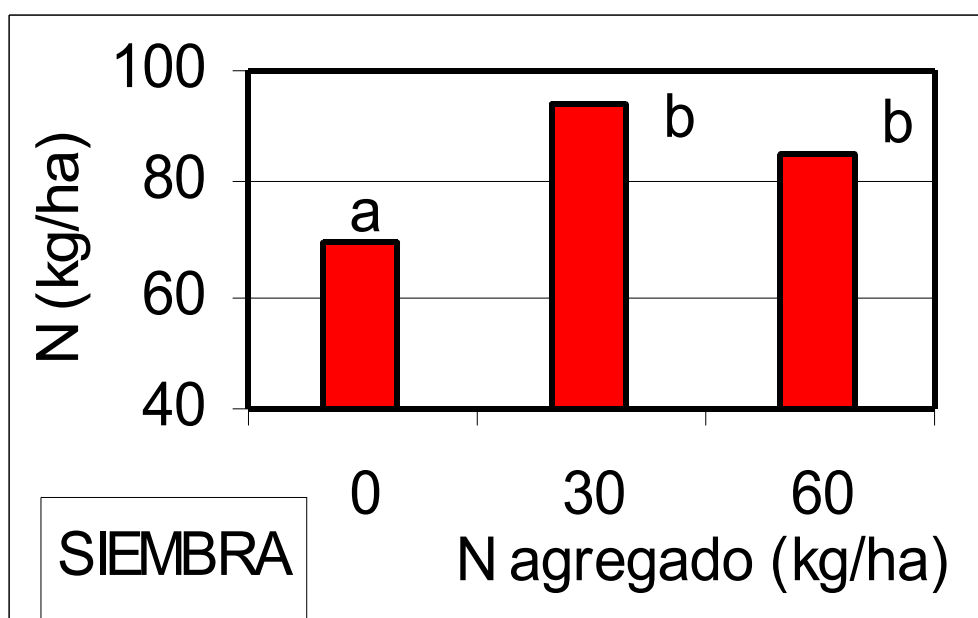


Figura 33. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a E según dosis a siembra y roseta
Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuando el contenido del nitrógeno acumulado en planta fue medido al completarse la floración (F2) ya se habían realizado todas las fertilizaciones. Para dicho momento, en Eclipse se ajustó un aumento del contenido de N en planta de 58 kg ($P < 0.01$) mientras que en Master fue de 65 kg ($P < 0.0001$), cada 100 kg de N agregados. Tanto en este estadio como en los restantes donde se determinó la variable, las fertilizaciones realizadas en distintos momentos no interaccionaron entre sí ($P < 0.05$).

A pesar de lo determinado en estadios anteriores, a F2 no se determinaron incrementos significativos en el nitrógeno acumulado, por el agregado de 30 unidades a siembra, aunque en Eclipse, frente al agregado de 60 unidades, la acumulación fue del orden del 71 % de lo agregado. En Master, la tendencia al aumento del N acumulado fue de 43 % de los 60 kg/ha agregados (figura 34). En trabajos de Chamorro *et al.* (2002),

frente a fertilizaciones que llegaron a las 150 unidades de N, se detectó un incremento en N acumulado que se ubicó próximo al 60 % de la dosis recibida, sin grandes variaciones en función de ésta, al estadio G1. Esto podría ser comparable dado que en el actual ensayo dicho estadio comienza dos días después del corte de biomasa realizado a F2.

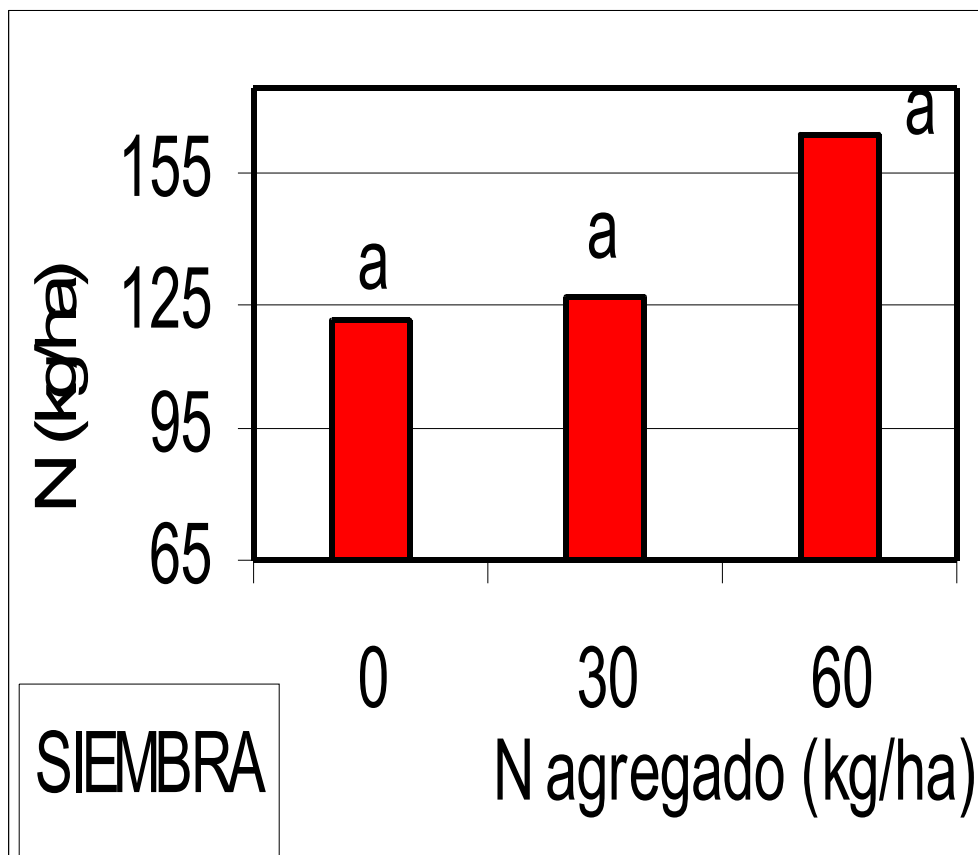


Figura 34. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a F2 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

En Eclipse, como en anteriores estadios, el incremento de nitrógeno acumulado a F2 por el agregado a roseta se observa para la menor dosis, siendo, aunque no significativo, del 80 % de la dosis. Por el contrario en la variedad sí se determinaron incrementos significativos por el agregado de N, siendo de 24 y 52 kg de N en planta/ha para las dosis de 30 y 60 kg/ha, respectivamente.

El híbrido, frente al agregado de 60 unidades a elongación incrementó en 63 % de dicha dosis, el contenido de N en planta, aunque no siendo significativa. Opuesto a lo

primero, en Master el mayor incremento se dio para la menor dosis, aumentando más de 45 kg de nitrógeno acumulado a F2, lo cual determinó diferencias significativas.

Cuando el cultivo llega al estadio G3, las diferencias en nitrógeno acumulado caen desde incrementos a F2 de 58 kg de N cada 100 kg N agregado en Eclipse a 25.4 kg de N a G3 cada 100 kg agregados ($P<0.05$). En Master las diferencias cada 100 kg de N agregados cayeron de 65 a 45.6 kg ($P<0.0001$) en los 23 días transcurridos entre floración y dicho estadio.

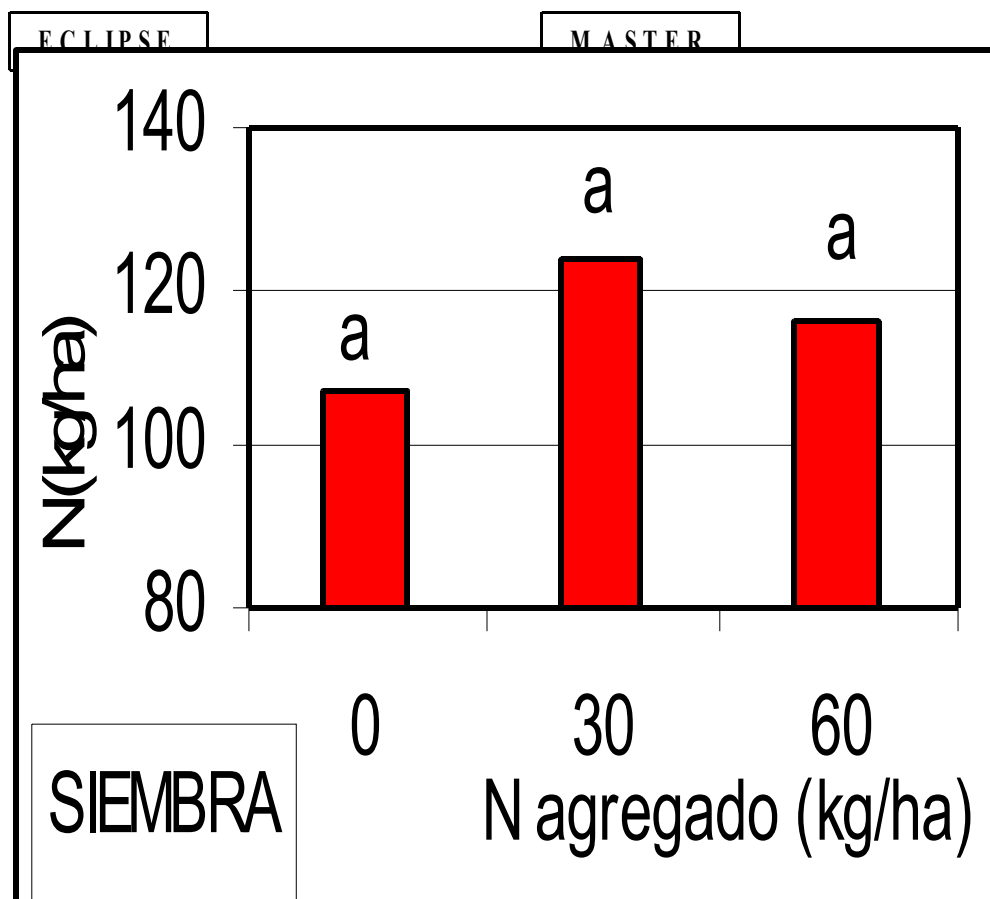


Figura 35. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a G3 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$).

A G3 (figura 35), si bien ya no se detecta un efecto significativo de las fertilizaciones que fueron realizadas a siembra sobre el contenido de N en planta, se mantiene la tendencia en ambos materiales a contener mayor cantidad del nutriente. Tanto por el agregado a roseta como a elongación se determinaron diferencias

significativas en Master. Se ajustó un incremento del 62.8 % de lo agregado a roseta ($P<0.005$), a la vez que a se ajustó un incremento de 53.4 % de lo agregado a elongación ($P<0.05$). En eclipse, si bien no se detectaron diferencias significativas por el agregado en ninguno de los momentos, tanto las fertilizaciones a roseta como a elongación determinaron tendencias a aumentar el N acumulado a G3 cuando la dosis en dichos momentos fue de 60 kg/ha.

A cosecha (G4), se determinó un incremento final del nitrógeno acumulado por el N total agregado del 44.6 y 28.8 % de la dosis ($P<0.0001$), en Eclipse y Master, respectivamente.

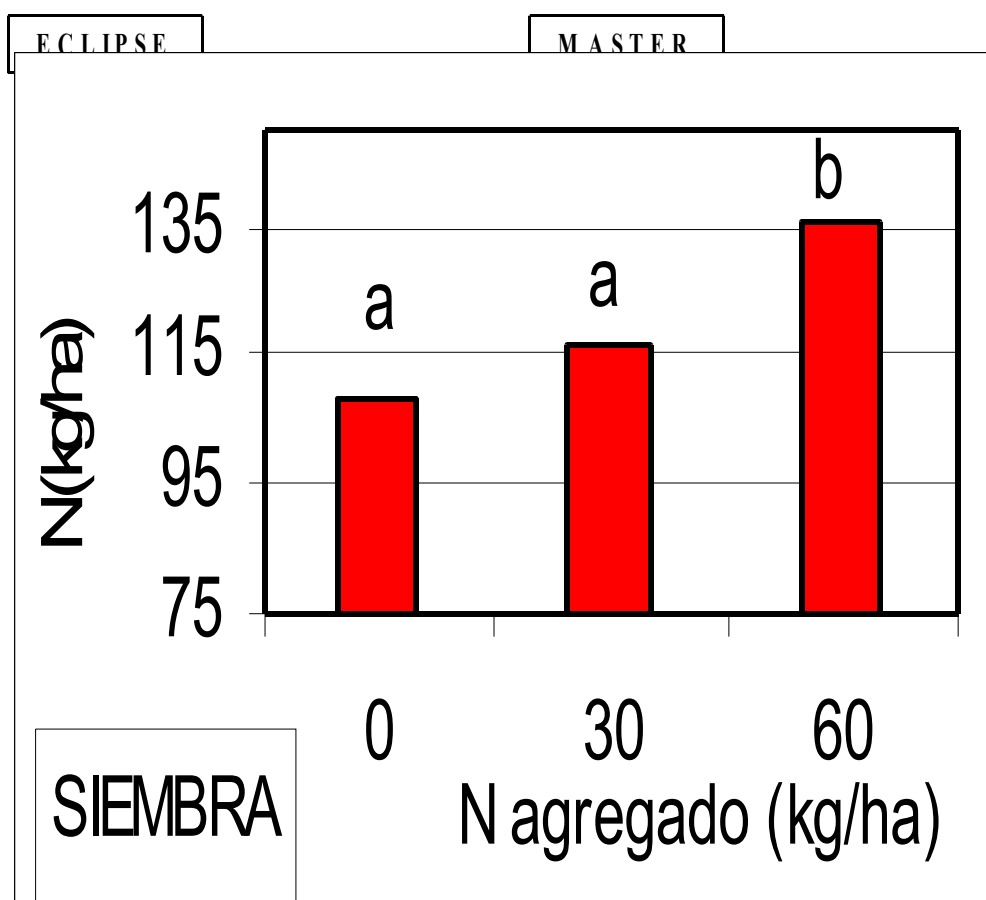


Figura 36. Nitrógeno acumulado en planta (kg/ha) a G4 según dosis a siembra, roseta y elongación

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Las fertilizaciones a siembra causaron incrementos de N en planta a cosecha del 46 % ($P<0.005$) de lo agregado en suelo en Eclipse, mientras que en Master no hubo un

efecto claro. La incidencia de la fertilización a roseta sobre el N que se logra acumular en la totalidad del ciclo del cultivo, en ambos cultivares, es claramente significativa, ajustándose un incremento de 52 y 53 kg N en planta/ha cada 100 kg N/ha agregados a B4 ($P < 0.0001$). El efecto del agregado a elongación aunque significativo, es menor que el del anterior momento, teniendo una relación N acumulado:Nagregado del 36 y 29 % para Eclipse y Master, respectivamente (figura 36).

Esto, en parte, explica las mayores respuestas encontradas en otras variables medidas frente al agregado a elongación. Las mayores diferencias encontradas respecto a la cantidad de N acumulado en la biomasa de las plantas según el nitrógeno que fue agregado a B4 determinan la necesidad del cultivo a dicho momento, lo que determina mayor absorción del nutriente cuando este se encuentra disponible en mayor cantidad consecuencia del aporte exógeno.

Debido a la compleja evolución que a tenido el nitrógeno total acumulado durante el ciclo del cultivo, la cual será analizada en adelante, y las diferencias según el nitrógeno agregado, es que no se ajustó ninguna ecuación que se correlacione adecuadamente con los datos obtenidos. Por consiguiente es que en la figura 37 se presenta la evolución durante el ciclo del cultivo del promedio de nitrógeno acumulado en planta para cada volumen de nitrógeno total agregado.

Como se observa en la figura 37, y como ya fue analizado anteriormente, el nitrógeno total agregado durante los distintos estadios del cultivo determinó, en casi la totalidad de los casos, niveles mayores de nitrógeno acumulado en la parte aérea de las plantas. El nitrógeno es absorbido por la planta y acumulado a bajas tasas durante el período de roseta, lo cual está gobernado por las bajas tasas de crecimiento que caracterizan al cultivo para dicho período.

Las diferencias en nitrógeno acumulado causadas por las fertilizaciones realizadas, se hacen más acentuadas a medida que se desarrolla el cultivo. Si bien desde B4 (63 dps) hasta E (103 dps) el contenido de nitrógeno en planta se ve incrementado, las tasas a que se acumuló no se hacen máximas hasta el siguiente período, lográndose la máxima acumulación o próxima a la misma, a F2. Esto concuerda con la literatura, donde el estadio en que se da el máximo consumo de nitrógeno resulta próximo al final de la floración (Canola Council, 2003).

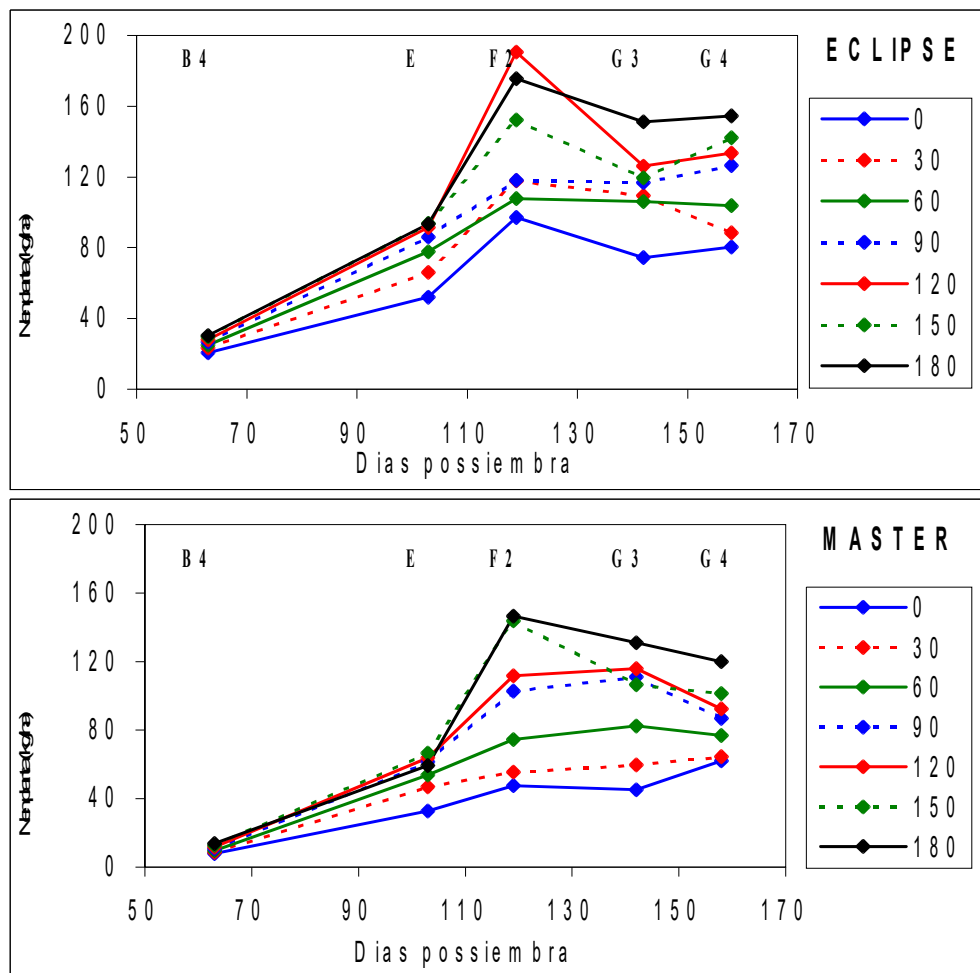


Figura 37. Evolución del promedio de nitrógeno acumulado en planta según dps por N total agregado

La acumulación total de N en planta se hace máxima a floración, fundamentalmente en Eclipse, mientras que en Master los valores promedios a F2 resultaron ser similares a los encontrados a G3. A su vez, existe una tendencia en esta variedad a alcanzar la máxima cantidad de N acumulado con anterioridad en el ciclo cuando la disponibilidad de N fue mayor.

En general, en Eclipse se detecta a G3 una importante pérdida del nitrógeno que había sido acumulado hasta floración. En Master también fueron encontradas dichas caídas de nitrógeno total en planta a G3 frente a las mayores dosis aplicadas, postergándose dicha caída para G4 cuando las dosis fueron menores. Frente a los casos de menor disponibilidad de N, donde las acumulaciones de N fueron notoriamente menores, no ocurrió dicha pérdida.

Ya se han citado disminuciones del N acumulado durante el período de madurez. Chamorro *et al.* (2002), determinaron el máximo acumulado a G1, existiendo posteriormente una caída del 11 % para cuando el cultivo llegó a G5.

Más allá de las elevadas tasas de crecimiento que se dieron en Eclipse en el período de floración a G3, comienzan a abscindir las hojas más viejas, que si bien el nitrógeno es traslocado para ser utilizado por otros órganos como las semillas, promedialmente se trasloca el 66 % del presente en las mismas (Pouzet *et al.*, 1995), lo que podría explicar la pérdida de nitrógeno por la caída de hojas ocurrida hasta G3 en Eclipse.

En Master las diferencias encontradas entre el nitrógeno acumulado en los últimos estadios del ciclo se encuentran en función del nitrógeno total aportado. A medida que la dosis total de N aumenta, la acumulación máxima de N en el ciclo del cultivo se logra más temprano.

Las parcelas que recibieron las dos mayores dosis acumulan la mayor cantidad de N a F2, cayendo posteriormente. Las tres dosis medias (60, 90 y 120 Kg N/ha) determinaron que las plantas continúen acumulando N hasta G3, luego del cual ocurre cierta pérdida de N. Por el contrario, cuando las plantas recibieron las dos menores dosis totales (0 y 30 kg N/ha), aunque a menores tasas, permanecieron todo el ciclo acumulando nitrógeno y por consiguiente llegando a la mayor cantidad acumulada al momento de la cosecha. Más allá de que a menor nitrógeno agregado la acumulación del mismo continúe hasta más adelante en el ciclo del cultivo, siempre es a menores tasas, lo que determina que nunca se logre acumular mayor cantidad que frente a mayores dosis de N.

Considerando lo propuesto por Allen *et al.* (1971), donde se afirma que la tasa de senescencia es afectada por el agregado de N, disminuyendo la longevidad de las hojas (Allen *et al.*, 1972), es que los resultados obtenidos en Master pueden deberse a que, frente a un creciente agregado de N se produzca un aumento en la tasa de senescencia, lo que determina una caída más temprana de las hojas y así del nitrógeno acumulado en la planta. Si bien Tamagno *et al.* (1999) afirman que una mayor disponibilidad nítrica permitirá atrasar la senescencia determinada por la traslocación, debemos considerar que esa mayor disponibilidad nítrica desarrolla una mayor canopia de silicuas que produce un mayor sombreado de las hojas inferiores, lo que podría estar determinando una muerte más temprana del área foliar.

Esa relación del nitrógeno acumulado en toda la planta con la permanencia de las hojas en las mismas pudo verificarse, dado que existe una elevada correlación entre el nitrógeno acumulado en planta y el IAF, donde por ejemplo dicha correlación entre ambos parámetros medidos a floración toma valores de 0.68 ($P < 0.005$).

La cantidad de N traslocado entre las distintas partes de la planta disminuyen a medida que la disponibilidad aumenta (Pouzet *et al.*, 1995), lo que explica que la pérdida de nitrógeno que ocurre durante la madurez del cultivo fuera mayor cuando este tuvo mayor cantidad de N disponible. Esa menor traslocación determina que los órganos que absindieron durante la madurez del cultivo lo hicieran con mayor contenido de N en ellos.

2.3.4.6.- Índice de cosecha

En Eclipse se observaron diferencias para los diferentes tratamientos mientras que para Master no hubo variación en el índice de cosecha al variar la cantidad de nitrógeno total agregado (figura 38). Los valores observados están notoriamente por encima de los obtenidos en trabajos argentinos (Sarandón *et al.*, 1996), así como otros que mencionan una relación materia seca semilla:paja de alrededor de 1:3 (Canola Council, 2003). Esto puede estar explicado, en parte, por los elevados rendimientos obtenidos, los cuales no son frecuentemente encontrados en la literatura al respecto.

En el híbrido, la materia seca total producida se traduce entre un 30 y un 33 % en rendimiento, cuando las dosis de N total no fueron elevadas. En la figura 38 se observa que este comportamiento se mantiene al aumentar las dosis de nitrógeno hasta que se logra un aparente óptimo de producción de materia seca, donde la misma tiende a aumentar asintóticamente al máximo frente a agregados adicionales de N, en donde la traslocación favorece a los componentes del rendimiento, aumentando la relación entre este y la materia seca total. Si bien esta respuesta está reportada en la literatura, también la falta de la misma (Sarandón *et al.*, 1996), a lo que se puede concluir que dicha eficiencia de partición de la materia seca se encuentra muy influenciado por diversos factores, además de la disponibilidad de N, tales como las condiciones hídricas y de crecimiento del cultivo.

En Master, el índice de cosecha osciló entre 31 y 35 %, no encontrándose diferencias entre los niveles de N agregados. Esto se debe a que los aumentos de rendimiento provocados por los tratamientos fueron acompañados por correlativos aumentos en la biomasa producida. Cabe aclarar que los aumentos en estas dos variables tienden a establecerse frente a las mayores dosis de nitrógeno agregado, reafirmando la hipótesis de que se llegó al máximo rendimiento para niveles de 150 unidades de N o superiores.

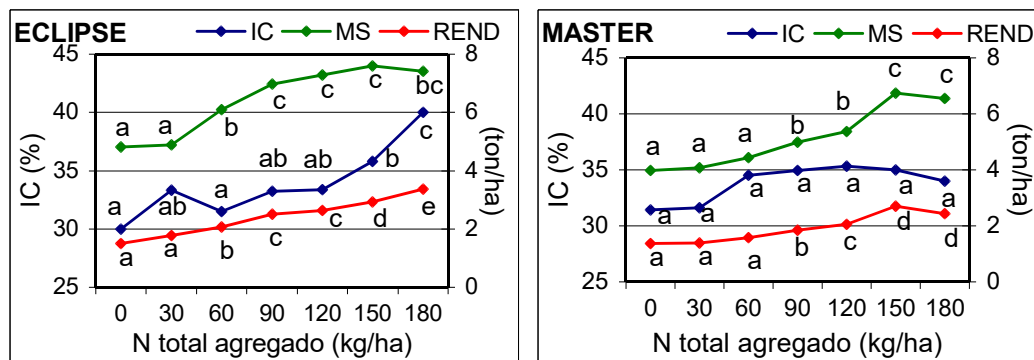


Figura 38. Valores promedios de índice de cosecha (IC), rendimiento (REND) y biomasa final (MS), según nitrógeno total agregado.

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

No se observaron efectos claros de las fertilizaciones realizadas en cada momento, más allá del efecto determinado por el nitrógeno total agregado en todo el ciclo del cultivo.

2.3.5.- Contenido de nitrógeno en suelo en función de la fertilización nitrogenada

La evolución de los valores de nitratos en los primeros 20 cm de suelo que se observan en la figura 39, muestra que no existieron mayores diferencias entre las dos situaciones en el aporte de dicho nutriente.

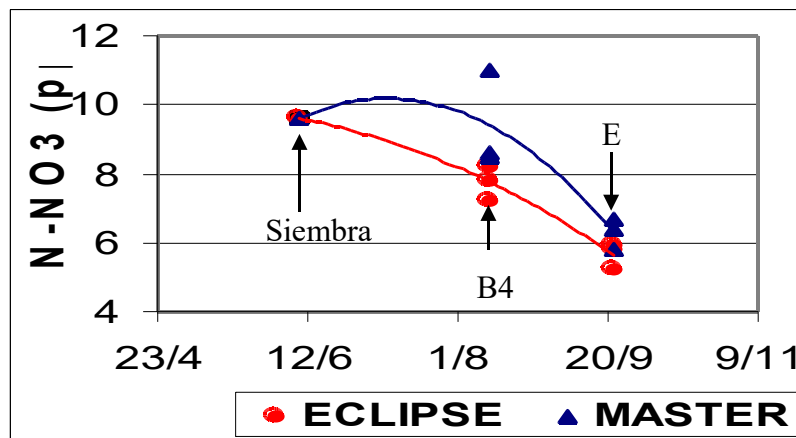


Figura 39. Evolución de N-NO_3 (0-20 cm) en la situación de Eclipse y Master sin agregado de N

Si bien no debe dejarse de analizar los resultados de ambos cultivares como dos situaciones o ensayos diferentes, donde las diferencias no se deben exclusivamente a las

variedades, es notorio que las diferencias en suelo y en capacidad de aporte de nutrientes del mismo no es el principal factor determinante.

Al estado de B4 se determinaron diferencias significativas en los contenidos del nutriente en el suelo en función de la dosis recibida a siembra (ver figura 40). En Eclipse se ajustó un incremento de 5 ppm de N-NO₃ en suelo (0-20 cm) a B4 cada 100 kg de N agregados a siembra ($P<0.005$). En Master el incremento ajustado fue de 8 ppm cada 100 kg N ($P<0.01$).

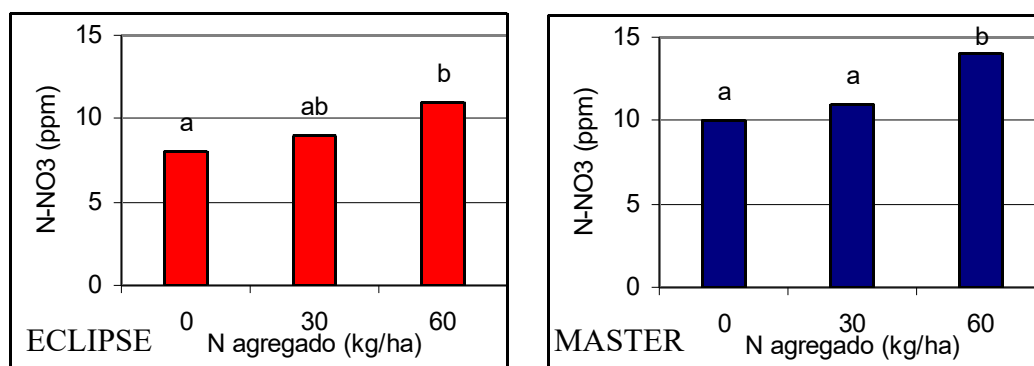


Figura 40. N-NO₃ en suelo (0-20 cm) a B4 según nitrógeno agregado a siembra

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$)

En el estado E del cultivo, no se observaron mayores diferencias entre los tratamientos nitrogenados recibidos a siembra y roseta sobre los contenidos de nitrógeno en suelo. En Eclipse éstos rondaron entre 5 y 6 ppm a la vez que en Master se dio entre 5 y 7 ppm de N-NO₃. En este estadio solo fue detectada diferencia significativa por el efecto del agregado a siembra, donde el agregado de 60 unidades de N determinó una disminución a 5 ppm frente a 6 ppm cuando las dosis fueron menores.

2.3.6.- Calidad de grano y N agregado

2.3.6.1.- Nitrógeno total agregado

Un importante componente de los granos en canola, tanto a nivel estructural del grano en sí, como a nivel económico, es el aceite que éstos presentan. Por consiguiente, la concentración que sea lograda a cosecha debe de ser considerada.

Primero cabe destacar las elevadas concentraciones de dicho componente encontrados en ambos materiales. Se determinaron valores promedio de aceite de 49.99 % de la materia seca de los granos de Eclipse, y del 49.38 % en Master, con mínimos de 45.04 % y 45.9 % a máximos de 54.89 % y 53.80 %, para Eclipse y Master, respectivamente.

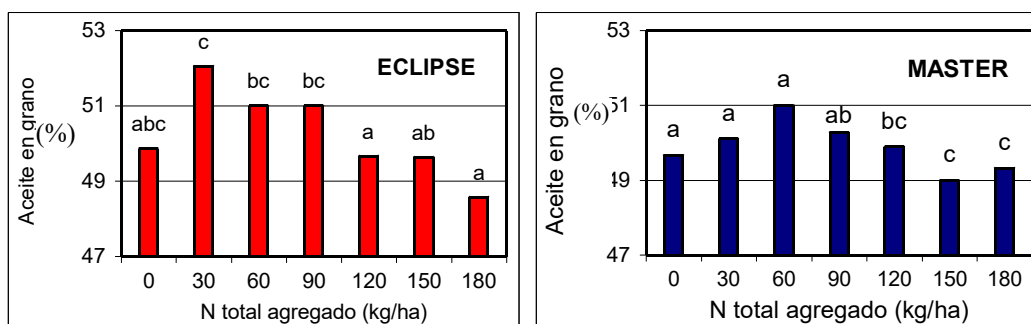


Figura 41. Concentración de aceite (%) en grano según N total agregado.

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Como ocurre con otras oleaginosas, como es el caso del girasol, el nitrógeno total agregado durante el ciclo del cultivo causó disminuciones en la concentración de aceite en grano de Eclipse del orden de 1.62 % cada 100 unidades de N agregadas ($P < 0.005$), sobre una base de 52.0 % de aceite. Como se observa en la figura 41, lo establecido anteriormente se ajusta frente a una dosis total igual o mayor a 30 UN, dada la ocurrencia de un incremento de los porcentajes de aceite por el agregado de las primeras 30 unidades de N. En Master se ajustó una caída, aunque menor, de 0.89 % cada 100 unidades de N ($P < 0.10$), sobre una base de 50.9 % de aceite. Las dosis más bajas produjeron cierto incremento en las proporciones de aceite, no siendo significativos en ninguno de los materiales.

Ambos decrementos se encuentran dentro de los valores citados por la literatura, los cuales van desde mínimos de 0.3 % (Dhindsa *et al.*, citado por Almond *et al.*, 1986) hasta valores de 7 %/100 kg N.ha⁻¹ (Scott *et al.*, citado por Almond *et al.*, 1986). Sin embargo, según Almond *et al.*, (1986), la reducción de aceite según la fertilización total de nitrógeno puede ser prevenida o disminuida cuando, frente a elevadas dosis totales, se fracciona en varios momentos.

2.3.6.2.- Momento de aplicación

Lo propuesto por Almond *et al.*, (1986), fue corroborado en este experimento, donde para un N total dado, fueron determinadas algunas diferencias significativas entre tratamientos. Si bien éstas diferencias solo fueron determinadas en algunas dosis totales de Eclipse ($P < 0.05$) y en una sola en Master ($P < 0.10$), todas ellas coincidieron en que para cada dosis total, cuanto más tardía en el ciclo del cultivo fue distribuida menos concentración de aceite fue determinada y viceversa. Si bien el fraccionamiento disminuye las reducciones de aceite, el momento en que es ubicado es el mayor determinante de las mismas para una dosis total dada.

Si desglosamos dicho nitrógeno total agregado según cada momento en que se adicionó dicho nutriente, se observa solo efecto significativo ($P<0.05$) por el agregado a elongación. En ambos materiales no se determinó un efecto sobre el aceite por la adición de N a siembra ni a B4 (ver figura 42). Por el contrario, en ambos materiales se determinaron disminuciones significativas de la concentración de este componente frente al agregado a elongación, a razón de 4.76 % cada 100 kg de N en Eclipse ($P<0.0001$) y 1.91 % en Master ($P<0.05$) (ver más detalle en ANEXO 7).

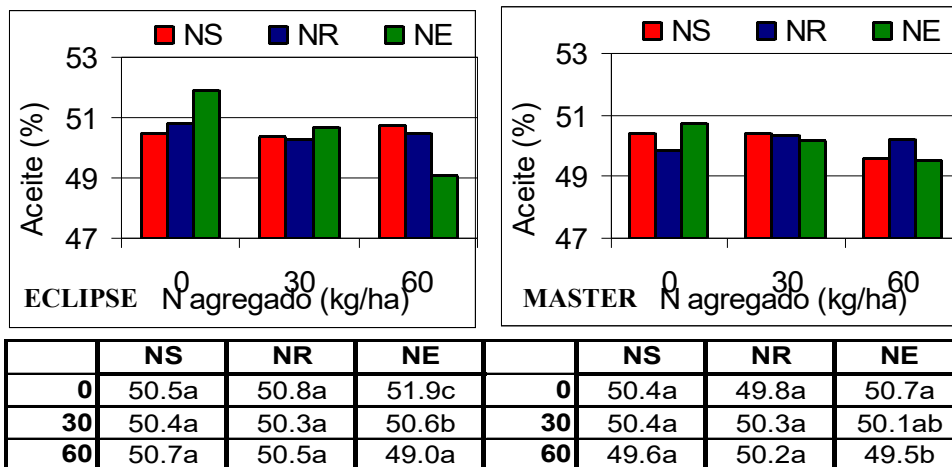


Figura 42. Concentración de aceite (%) en grano según N agregado a siembra, roseta y elongación

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$) entre dosis y dentro de momentos.

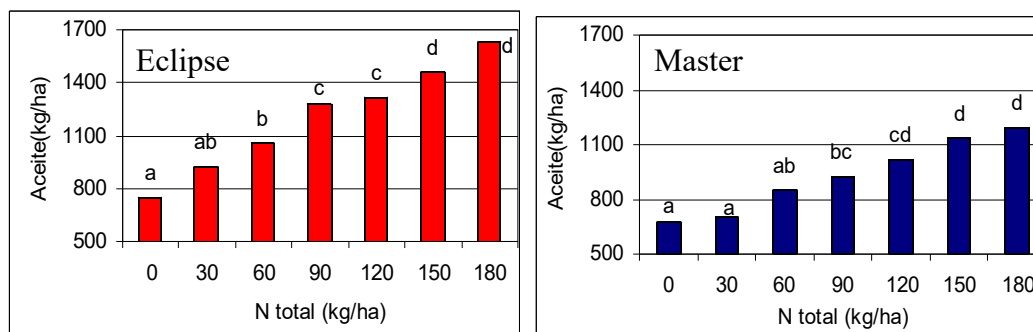


Figura 43. Producción de aceite (kg/ha) en grano según nitrógeno total agregado

Nota: Medias con las misma letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$)

En reiterados trabajos (Almond *et al.*, 1986; Brennan *et al.*, 2000; Mason *et al.*, 1998) aparece citada una correlación muy fuerte entre la concentración de nitrógeno y la de aceite en grano, además de valores constantes para la suma de las dos variables de alrededor de 62 % (Brennan *et al.*, 2000). A pesar de ello no se determinaron correlaciones significativas en este ensayo entre ambas variables.

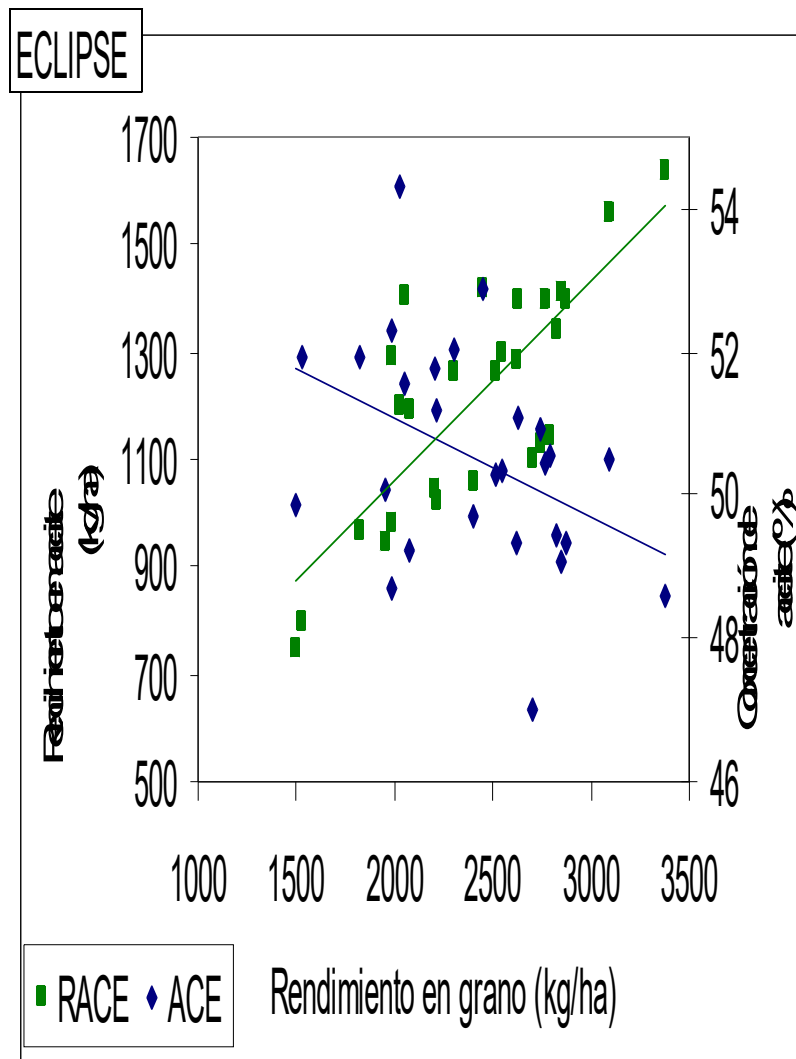


Figura 44. Rendimiento y concentración de aceite en función del rendimiento en grano para Eclipse y Master

A pesar de los resultados negativos que presentan sobre la concentración de aceite en grano, el agregado de nitrógeno en general y a elongación en particular; el incremento en rendimiento obtenido no permite que dicha disminución en los porcentajes de aceite produzcan un descenso en el rendimiento en aceite (ver figura 43 y

43). La cantidad de aceite producida (kg/ha) sigue los patrones de respuesta del rendimiento más que los del porcentaje de aceite, produciéndose incrementos por el agregado de nitrógeno en todos los momentos, y aditivos según dosis.

2.3.7.- Efecto de la fertilización azufrada

2.3.7.1.- Rendimiento en grano y sus componentes

No se determinaron efectos significativos ($P < 0.10$) del agregado de S sobre el rendimiento en ninguno de ambos materiales. La dosis de 30 unidades de S, aunque puede resultar excesiva para algunos cultivos como soja, causando que la respuesta no se exprese (com. pers. A. Morón), resulta una cantidad mínima necesaria por el cultivo (Grant, 1990; Grant, 1991; Pouzet *et al.*, 1995; Canola Council, 2003; Rubio y col., citado por Scheiner *et al.*, 2000).

A pesar de que el nutriente fue agregado en forma de sulfato, el cual es rápidamente asimilable para el cultivo (Agriculture, Food and Rural Revitalization, 2003), a nivel de campo se notó una permanencia del fertilizante sobre la superficie del suelo por varios días, el cual no fue diluido e incorporado rápidamente en el sustrato. A esto se le suma que dicho fertilizante se encuentra en forma de polvo, por lo que dificulta la aplicación, estando muy afectada por el viento, más al haber permanecido por varios días en superficie, lo que puede estar explicando en parte la ausencia de respuesta a dicho nutriente.

El momento en que fue aplicado el S es otro de los factores que podría estar influenciando para que no se determinara respuesta a dicho nutriente, dado que, según la literatura (Nuttall *et al.*, 1991; Grant, 1991), a medida que se atrasa la aplicación disminuye el efecto del mismo, siendo próximo a la siembra el momento óptimo. Sin embargo, el efecto del agregado según el momento en que se hace aparece muy variable, dado que en similares experimentos se pueden obtener resultados contradictorios en distintos sitios (Nuttall *et al.*, 1991), por lo que no podría asegurarse que el momento en que fue agregado el nutriente fue incorrecto.

El agregado de S no determinó cambios significativos en ninguno de los componentes de rendimiento determinados, a excepción del componente silicuas determinado en el híbrido. Si bien debemos volver a hacer la salvedad que merece la sobrestimación realizada en la determinación de los componentes, en Eclipse se determinó un incremento significativo ($P < 0.01$) sobre la producción de silicuas por planta, parámetro que ascendió en promedio de 71 a 91 frente al agregado de 30 unidades de S. Sin embargo en Master dicha diferencia fue tan solo de 0.5 sil/pl, no teniendo validez estadística ni agronómica, dado que representa tan solo un incremento del 0.77 % del valor obtenido sin agregado.

Podría considerarse que la falta de respuesta a dicho nutriente haya estado determinada por las condiciones ambientales, ya sea de suelo como de clima.

2.3.7.2.- Parámetros de crecimiento

Aunque el agregado de azufre en Master no tuvo efecto en ninguno de los parámetros de crecimiento ni calidad que también fueron analizados para evaluar el efecto del nitrógeno, en Eclipse se encontraron algunos efectos.

El efecto de la adición del azufre tampoco fue marcado sobre los porcentajes de N encontrados en planta, a la vez que tampoco afectó dichos niveles cuando fueron medidos en hoja. Otro de los parámetros de crecimiento que no fueron afectados por los tratamientos azufrados fue la producción de biomasa en los distintos estadios del cultivo, en ambos materiales.

Como excepción a lo anterior cabe destacar la determinación de un efecto significativo ($P < 0.05$) y positivo del S en Eclipse al estadio G3, únicamente, sobre la cantidad de N acumulada en planta y sobre la producción total de MS a dicho estadio, no repitiéndose en ningún otro momento del cultivo. El valor promedio de N acumulado en la parte aérea a G3 para los tratamientos sin S fue de 127 kg de N/ha, ascendiendo dicho valor en 41 kg cuando las parcelas con los mismos tratamientos nitrogenados recibieron azufre. En la biomasa producida a dicho estadio el incremento fue de 1746 kg MS/ha, sobre una base de 9831 kg MS/ha cuando no recibieron S; comportamiento sin explicación aparente.

En Eclipse este nutriente determinó que las plantas presentaran mayor altura ($P < 0.05$), pasando en promedio de los 97 cm cuando fueron medidas a F2, a alcanzar los 104 cm. El agregado de S no determinó cambios significativos en los restantes parámetros de crecimientos que fueron anteriormente analizados para evaluar el efecto del agregado de N, como IC, IAF, etc.

2.3.7.3.- Parámetro de calidad

En lo que respecta a los parámetros de calidad, determinado por el porcentaje de aceite en grano, al igual que en los demás componentes no se encontraron efectos del azufre en Master. Sin embargo en Eclipse se determinó una reducción significativa del porcentaje de aceite por el agregado de azufre, pasando de valores promedios de 49.25 % a 48.13 %. Si bien la respuesta de este componente también resulta errática, pudiéndose obtener respuestas positivas, negativas o no encontrar respuesta, la disminución encontrada coincide con los resultados encontrados por Wetter, 1970 (citado por Grant *et al.*, 1993). Si bien en suelos deficientes en S, la aplicación puede incrementar el porcentaje de aceite, es posible que los niveles presentes en el suelo en

estos ensayos no lo hayan sido, explicando la disminución en los porcentajes de aceite por el agregado del nutriente (Grant, 1991; Pouzet *et al.*, 1995).

2.4.- CONCLUSIONES

Se comprueba que el agregado de nitrógeno tiene gran impacto sobre la mayoría de las variables medidas en los dos materiales evaluados. Niveles de nitrógeno agregado de 180 kg/ha no son suficientes para lograr el rendimiento potencial en Eclipse en un suelo que parte de 10 ppm de N-NO₃ (0-20 cm). Esto demuestra la gran capacidad de respuesta que presenta y las necesidades de nitrógeno que posee este material. Master parece haber alcanzado un rendimiento máximo con el agregado de las mayores dosis, lo que haría pensar que pudo haber llegado a su potencial para dosis iguales o superiores a las 150 UN.

Los niveles del nutriente encontrados en estos ensayos no alcanzaron los valores de suficiencia ni para nitrógeno en planta ni para nitratos en suelo. Porcentajes de nitrógeno en planta de 4.40 y 2.55 como los determinados a roseta y elongación respectivamente no indican niveles de suficiencia, así como tampoco lo hacen 14 ppm de nitratos en suelo a roseta y 6 ppm a elongación.

A roseta, los niveles de nitrógeno en planta como los valores de nitratos en el suelo evolucionaron acorde a los tratamientos previos recibidos, sin embargo al no lograrse estimar valores óptimos, no se puede definir un indicador de la necesidad del cultivo a dicho estadio. Los mismos indicadores en el estado de elongación no tienen ninguna relación con el nivel nutritivo del cultivo. En futuros trabajos sería conveniente encontrar los niveles de suficiencia del cultivo en el estado de roseta, generando situaciones de mayor disponibilidad. También se destaca la necesidad de encontrar algún indicador de estado nutricional del cultivo en estados más avanzados, realizando las mediciones por ejemplo en órganos jóvenes de la planta, hojas.

Dados los elevados requerimientos de nitrógeno por parte del cultivo y las características climáticas de nuestro país, se vuelve muy importante el manejo del nitrógeno en el esquema de producción de cultivos. Hay que tener en cuenta que en las etapas iniciales de crecimiento, si bien existe elevada respuesta al nitrógeno agregado, el cultivo es poco capaz de absorber grandes cantidades desde el suelo. Un buen planteo de la refertilizaciones puede llevar a un mejor aprovechamiento de este nutriente.

En Master la refertilización a roseta tiene un efecto sobre el rendimiento y las variables de crecimiento, notoriamente superior que en los demás momentos. En Eclipse la respuesta según el momento solo tiende a ser superior en roseta.

En ambos materiales aumentar la dosis de nitrógeno en elongación provoca un significativo descenso en las proporciones de aceite en el grano. A pesar de estas disminuciones en porcentaje, los valores absolutos de aceite tienen una respuesta lineal y positiva al agregado del fertilizante, debido a que el aumento en rendimiento contrarresta y supera la caída porcentual.

En las condiciones en las cuales se ha planteado este ensayo, el agregado de azufre no mostró efecto directo sobre ninguna de las principales variables medidas.

2.5.- RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el estudio de dos materiales actuales de *Brassica napus* frente a diferentes dosis y momento de aplicación de nitrógeno y al agregado de azufre.

Se seleccionó un híbrido y una variedad, Eclipse y Master respectivamente, ambos disponibles en el mercado, y se sembraron el 9 de junio de 2003, en el campo experimental de INIA La Estanzuela. El ensayo se planteó como un factorial de tres momentos de fertilización: siembra, roseta (B4) y elongación (E); y tres dosis de nitrógeno: 0, 30 y 60 kg N/ha. Además se fertilizó con 30 kg S/ha en aquellos tratamientos que sumaban 120 kgN/ha o más.

Con el fin de evaluar la respuesta frente a dichos tratamientos se midió el rendimiento en grano en ambos materiales, a la vez que fueron estimados sus componentes. También fueron determinados variables de crecimiento del cultivo como biomasa, cobertura, área foliar, contenido de nitrógeno en planta y altura, al igual que se midieron los niveles del nutriente en suelo. Por último, se determinó el porcentaje de aceite en grano, como medida de calidad del mismo.

Tanto en el ensayo realizado con la variedad Master como con Eclipse se determinaron incrementos en rendimiento por el agregado de nitrógeno. Si bien ambos materiales respondieron al agregado de N en los tres momentos, en el caso de Master ésta fue mayor para fertilizaciones al estadio B4. Si bien en Eclipse la respuesta frente al agregado a roseta también fue mayor, la diferencia con los restantes dos momentos de fertilización no fue de tal magnitud como en Master.

En general el agregado de nitrógeno tendió a incrementar todas las variables de crecimiento. Hubo un efecto incremental de la fertilización nitrogenada sobre la producción de biomasa, la cual sufrió una acumulación a bajas tasas hasta roseta, luego de lo cual aumenta a tasas crecientes hasta el estadio G3. Posterior a este estadio se dio una caída en la biomasa total acumulada.

Si bien en general hubo una disminución en la concentración de aceite en grano por el agregado de N, explicada en mayor parte por la fertilización a elongación, nunca se determinó una disminución en la cantidad de aceite producida.

En Master no se determinó efecto de la fertilización con azufre sobre ninguna de las variables medidas. En Eclipse, si bien se encontraron diferencias para algunas variables, no fue de mayor importancia. En este híbrido la adición de azufre causó incrementos en los componentes silicuas/planta, sin embargo esto no se vio reflejado en el rendimiento. Además se determinaron incrementos en algunos parámetros de

crecimiento, en determinados momentos del cultivo y un descenso significativo de la concentración de aceite en granos de Eclipse.

2.6.- SUMMARY

The objective of this experiment was to examine two actual cultivars of *B. napus* with reference to assessing the response of these to different levels and times of nitrogen and sulphur fertilizer applications.

Two *B. napus* cultivars, an hybrid and a variety (Eclipse and Master respectively), were sown on 9 June, 2003. The trials were conducted as a factorial with three moments: seeding, rosette (B4) and elongation (E); and three nitrogen levels: 0, 30 and 60 kg/ha. Overmore, treatments fertilized with 120 kg N/ha or more, were replied and added 30 kg S/ha.

Seed yield in both cultivars, growth patterns such as dry matter, cover land index, leaf area index (LAI), nitrogen content and plant height were determined. Moreover, the nitrogen soil levels was measure too. Finally, the oil grain level was determined as a quality measure.

Increased seed yield was found in both cultivars in consequence of total nitrogen added at any of the three moments of application. Rosette nitrogen applications caused the greatest increase in yield on both cultivars, however, these differences between moments was higher in Master.

In general, nitrogen additions tend to increase all growth patterns. The nitrogen fertilizer caused a dry matter increase, which was accumulated at low rates between the period from sowing to rosette. After that, the dry matter increase at increasing rates to G3 stage. Between G3 and G4, this pattern decreased.

Although a decrease in oil grain content was determined as a consequence of nitrogen addition, this decrease was explain primarily by the fertilization at elongation. This nitrogen effect on oil concentration, never was found in oil production.

In Master sulphur fertilization effect was not found over all the patterns measured. In Eclipse the effect of this nutrient was found in some of the growth patterns. In this hybrid, sulphur addition increased the pod per plant ratio, however, this increase didn't affect the grain yield. In front of this positive sulphur effect, a significative decrease was found on oil concentration grain in Eclipse.

3.- CAPITULO II: EFECTO DE LA ÉPOCA DE SIEMBRA SOBRE EL DESARROLLO FENOLÓGICO EN DIVERSOS CULTIVARES DE *B. RAPA*, *B.* *JUNCEA* Y *B. NAPUS*

3.1.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1.1.- Especies utilizadas

Existen diferentes especies que componen el género *Brassica*. Las más cultivadas son *B. napus* L. *oleifera*, *B. rapa* (ex *campestris*) y *B. juncea*.

La especie más comúnmente cultivada en Europa y Canadá, *B. napus* L. *oleifera*, es conocida como variedad de tipo "Argentina" por el origen de su introducción (Pouzet *et al.*, 1995). Ésta surge de la hibridación natural interespecífica de *B. oleracea* L. ($2n = 18$) y *B. rapa* (ex *campestris* L.) ($2n = 20$), lo que origina una especie anfiploide ($2n = 38$), autocompatible, con un grado de polinización cruzada dependiente de la población de insectos (Kimber *et al.*, 1995; Gómez *et al.*, 1983; Martino *et al.*, 1999). Uno de sus ancestros, *B. oleracea*, es quien origina el coliflor, brócoli y repollito de bruselas (Floridata, 2002). Se cree es originaria del sur de Europa. Sin embargo, muchos de los cultivares de *B. napus* en China, Corea y Japón fueron desarrollados del cruzamiento entre materiales de *B. napus* europeos y variedades indígenas de *B. campestris* (Shiga, 1970 citado por Downey *et al.*, 1989)

B. rapa, la especie más antigua y que ha tenido más amplia distribución, es conocida tanto como nabo, como por variedad de tipo "Polaca". Posee varios centros de origen. Según Burkhill (1930)(citado por Kimber *et al.*, 1995) ésta especie es originaria de Europa, como una forma bienal la cual luego fue evolucionando a una forma anual. Otros centros de origen pueden ser Centro de Asia, Afganistán o India (Kimber *et al.*, 1995)(Martino *et al.*, 1999).

B. juncea es distinguida por el color de sus semillas; los cultivares de semilla amarilla son conocidos como "mostaza oriental" o "mostaza amarilla", mientras que los de semillas marrón como "mostaza marrón". Esta especie es originaria del centro de Asia y China, producto del cruzamiento entre *B. rapa* y *B. nigra*, lo que origina una especie anfiploide. Hemingway, 1976(citado por Kimber *et al.*, 1995; Downey *et al.*, 1989), considera como un posible origen la hibridación independiente en centros secundarios en India, China y el Cáucaso, donde *B. nigra* fue ampliamente usada como especie comercial.

En general, la autopolinización ocurre en las especies anfiploides como *B. napus* o *B. juncea*, las cuales bajo condiciones de campo pueden tener en promedio un 30 % de polinización cruzada originada por viento o insectos. En contraste, las especies diploides

como *B. rapa*, son normalmente autoincompatibles, lo cual se encuentra bajo control esporofítico, lo que determina que sean de reproducción cruzada (Downey *et al.*, 1989).

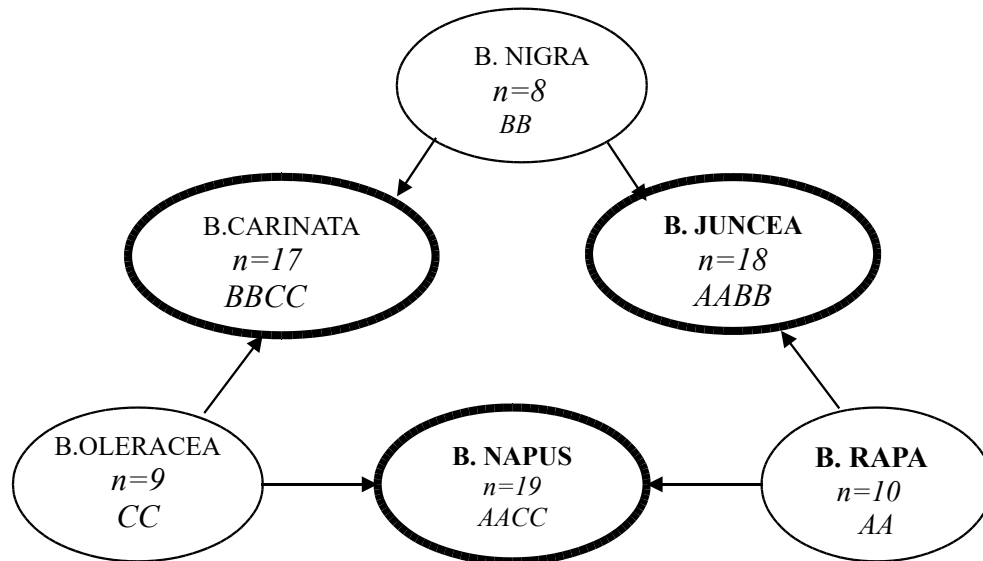


Figura 45. Relación Genómica entre las especies del Género *Brassica*. (Kimber *et al.*, 1995)

En *B. napus* y *B. rapa*, existen variedades anuales invernales y primaverales. Las invernales son más productivas que las otras, pero son menos resistentes al invierno que los cereales de invierno. Las formas invernales de la primer especie predominan en el nordeste europeo, en el centro y sur de China; mientras que donde las condiciones invernales son severas, como en regiones de oeste de Canadá y China, así como del norte de Suecia, deben ser cultivadas los tipos primaverales. Aparentemente no habrían formas invernales para *B. juncea* (Downey *et al.*, 1989).

La especie *B. napus* se presenta como la de mayor rendimiento potencial, al menos en condiciones favorables, debiéndose probablemente a su origen aloploiploide. Cuando crecen bajo inviernos templados, poco fríos, como en Australia y Japón, los cultivares con una respuesta a la vernalización son a menudo usados, pero esto no es exclusivamente así (Mendham *et al.*, 1995).

En el caso de *B. rapa* (ex *B. campestris*), los tipos invernales tienden a ser cultivados en áreas donde el invierno es marginal para la anterior especie, debido a las bajas temperaturas, dado que los puntos de crecimiento están usualmente mejor protegidos del congelamiento. Por el otro lado, los tipos primaverales son normalmente de floración y madurez más temprana que los de *B. napus*, lo que determina que sean sembradas en zonas con una corta estación de crecimiento (Mendham *et al.*, 1995).

B. juncea o “mostaza de la India” es la mayor oleaginosa de dicha región. Es más tolerante a la sequía y altas temperaturas que las otras especies. Existen características que contribuyen a eso, tales como el tener una mejor germinación en suelos secos. Esto puede deberse aparentemente a una mayor concentración de mucílago en la testa de la semilla, lo que permite la atracción y retención de agua. Estas características le permiten obtener mayores rendimientos y madurez más temprana en zonas con deficiencias hídricas o excesos térmicos, que comprometan la estabilidad de las anteriores variedades (Mendham *et al.*, 1995). Al poder germinar en suelos demasiado secos y tener mayor vigor de plántula le permite cubrir el suelo más rápidamente, usando más eficientemente el agua para la transpiración, disminuyendo las pérdidas por evaporación. Esto le permite producir cerca del doble de biomasa y grano que *B. napus*, bajo condiciones de sequía (Oram *et al.*, 1999).

Otras virtudes de esta especie son la mayor resistencia al desgrane y elevados niveles de resistencia a “pie negro” (“Blackleg”), la enfermedad más importante en canola a nivel mundial, causada por el hongo *Leptosphaeria maculans* (Woods *et al.*, 1991).

Los cultivares de *B. juncea* han sido muy usados para la producción de condimentos, entre los que se destaca la mostaza. En ensayos llevados a cabo en el norte de América fue evaluada la performance de algunas de sus variedades respecto a las otras dos especies más importantes, entre los que se destaca el cultivar “Cutlass”. Éste cultivar, uno de los más distribuidos y mejor adaptados a la región oeste de Canadá, se caracteriza por ser de semilla amarilla, parámetro que es preferido dada la asociación con un alto contenido de aceite y con una “torta” de color claro y bajo contenido en fibra (Woods *et al.*, 1991).

Pero resultados contradictorios se han observado para este cultivar. Mientras que unos trabajos lo caracterizan como de mayor potencial de rendimiento que las otras especies (+14%) y madurez más temprana, un segundo trabajo llevado a cabo por el mismo autor obtiene resultados opuestos. Como desventaja, es de destacar el menor contenido de aceite y su calidad, dado que se trata de un cultivar con contenidos de glucosinatos de 200 $\mu\text{moles g}^{-1}$ de torta y donde el 25 % del de aceite es ácido erúico, lo que lo deja afuera de su uso con fines comestible a nivel humano (Woods *et al.*, 1991) (Woods, 1992).

Dado estos resultados el autor concluye que bajo condiciones frías, donde se da lo anteriormente dicho, junto a los menores contenidos de aceite, futuros cultivares de “juncea canola” no podrán competir con la predominante especie *B. napus* (Woods, 1992).

Actualmente existen cultivares de ésta especie con las características de canola. El desarrollo de cultivares de *Juncea canola*, a través del Saskatchewan Wheat Pool (SWP) y el Agriculture and Agri-Food Canadá (AAFC), siguió un proceso similar al pasaje de colza a canola en *B. napus*, manteniendo las virtudes de la especie, tales como:

- Tolerancia a sequía y altas temperaturas,
- mayor vigor de plántula,
- bajos problemas de insectos y enfermedades,
 - excelente resistencia a blackleg,
- mejor comportamiento frente a desgrane y vuelco que proveen una oportunidad para lograr la cosecha directa del cultivo,
- bajos niveles de semillas verdes,
- cobertura de la semilla amarilla → testa más fina
- menos fibra que semillas oscuras → mejor digestibilidad de la torta, } Torta deseable
- bajo en ácidos grasos saturados,
- no es un organismo genéticamente modificado (GMO) (SWP, 2000)(SeedQuest, 2002)(CSIRO, 2002).

Con características considerablemente distintas, tanto de adaptación como morfofisiológicas, se encuentran desarrolladas las especies de *B. napus* y *B. rapa*. (Martino *et al.*, 1999). Éstas especies tienen una mayor distribución a nivel mundial, a la vez que la existencia de cultivares con calidad canola es de mayor anterioridad. Existe una gran diversidad de variedades tanto sintéticas como de polinización abierta, híbridos, cultivares transgénicos, etc.

Híbridos de *B. napus* como los “Hyola” (H-43, H-401, H-420) se caracterizan por su gran adaptación y productividad en Uruguay, siendo los cultivares más sembrados últimamente. Se trata de materiales originarios de la empresa Zenecca (Canadá), los cuales se caracterizan por su precocidad y por presentar baja estatura, lo que les permite lograr mayor uniformidad de maduración y menores pérdidas por vuelco (Martino *et al.*, 1999). Una de las desventajas del híbrido es su susceptibilidad frente a Blackleg, categorizado como 4 en la escala de 1 a 5 (Canola Council, 2003).

Los únicos cultivares producidos en la región son los denominados “Nolza” (por ej. Nolz 531), provenientes de Nidera Argentina, en Venado Tuerto. El programa de mejoramiento apunta a la producción de variedades de polinización abierta (VPA) (Martino *et al.*, 1999). Fuera de la región, otras VPA como “Master”, “Impulse”, “Mistral” son producidas por la empresa Svalof Weibull (Canola Council, 2003).

Dentro de la diversidad de cultivares de *B. rapa*, se destacan los cultivares “Hysyn”, por tratarse de variedades sintéticas (sintética 1) de canola generadas por la empresa Zenecca mediante la libre inter e intrapolinización de dos poblaciones

compuestas seleccionadas por sus altos rendimientos, uniformidad y calidad (Falk *et al.*, 1996a; Falk *et al.*, 1996b).

La especie *B. rapa* se caracteriza por cubrir un rango más amplio de madurez, por lo tanto se adapta a un mayor rango de climas, existiendo materiales más tempranos que en *B. napus*, especie más reciente y con menor variabilidad. En la primer especie, la mayor proporción de la biomasa es acumulada posterior a la antesis, estando determinada principalmente por la duración del área foliar pos antesis (DAF). Sin embargo, en la otra especie, la producción de biomasa se asocia principalmente a la duración del período vegetativo, donde la antesis ocurre sobre el final del período de gran incremento de materia seca, cuando el peso seco de la planta alcanza el 50 % del total a cosecha. La mayor producción de materia seca total a cosecha y el mayor IAF máximo diferencian a *B. napus* (Gómez *et al.*, 1983).

Cuadro 9. Diferencias morfofisiológicas entre *B. rapa* y *B. napus* (adaptado de Canola Council, 2003; Mendham *et al.*, 1995).

	<i>Brassica rapa</i>	<i>Brassica napus</i>
Cotiledones	Envés espinoso y arrugado	Envés liso
Roseta	Pequeña, 3 a 5 hojas verde-amarillentas	Grande, 6 hojas cerosas verde azuladas
Ramas	+ 20 ramas/planta	4 - 6 ramas/planta
Flores	Más grandes y amarillo más oscuro Autoincompatible→depende de polinización cruzada Botones florales más compactados Ubicados debajo de flores abiertas	Autocompatible→ 70-80%autopolinización Botones por encima de flores abiertas
Hojas	La base abraza al tallo completamente	Base abraza parcialmente
Altura	50-125 cm	75-150 cm
Silicuas	Más sil/planta, más chicas, cortas, puntas largas,	Menos, más grandes, punta mediana
Granos	Más chicos, PMG=2-3 gr	Más grandes, PMG=3.5-4.5gr
Desgrane	Resistente	Fácilmente dehiscentes

3.1.2.- Fenología y aspectos fisiológicos

Los estadios fenológicos por los que atraviesa el cultivo son caracterizados dentro de diversas escalas, habiendo sido seleccionada para este trabajo la de CETIOM.

3.1.2.1.- Germinación

Durante ésta fase, el embrión dormante es reactivado (Daniels *et al.*, 1986). Este estado pre-emergente abarca la absorción de agua, hinchazón, división de la cobertura de la semilla y emergencia de la radícula a través de la testa. La raíz crece hacia abajo y desarrolla raíces secundarias que anclan el desarrollo de la plántula. El nuevo tallo o hipocótilo comienza a crecer de manera epígea, empujando dos cotiledones en forma de corazón (Figura 1) a través del suelo (Canola Council, 2003).

El lograr una adecuada germinación y uniformidad en el establecimiento, está especialmente influenciado por las condiciones de la sementera, siendo necesario lograr cierta firmeza y finura que minimicen la variación en la distancia entre plantas (Daniels *et al.*, 1986).

La temperatura del suelo es el principal factor que promueve la germinación, una vez que la semilla se imbibió en agua. En general la semilla que logra una madurez completa en la planta madre, de color negro, tiene una emergencia radicular más rápida que la semilla inmadura, de color rojo. A su vez, semillas largas, como las del tallo principal o las ramas superiores, producen largos cotiledones y por consiguiente plántulas más vigorosas; esto sin embargo no causa efecto en la población final o rendimiento, salvo en siembras tardías, donde el tamaño de las plantas en floración es limitado (Mendham *et al.*, 1995).

3.1.2.2.- Plántula

Una vez emergida, 4 a 10 días después de sembrada, la plántula desarrolla un tallo corto de 1.25-2.5 cm. Los cotiledones proveen de alimento para el crecimiento de la planta; mientras los puntos de crecimiento se mantienen protegidos, por encima del suelo, por dichos cotiledones.

Debido a que los puntos de crecimiento se encuentran más expuestos que en el caso de los cereales, las plántulas de canola presentan mayor susceptibilidad a heladas, granizo, amontonamiento de tierra, insectos y otros factores que puedan dañarla debajo de los cotiledones (Canola Council, 2003).

El establecimiento rápido de las plántulas influye para que sucesivas y posteriores temperaturas cercanas a 0 °C produzcan un “endurecimiento” en la planta, permitiendo al cultivo soportar temperaturas aun más bajas sin ocasionar daños serios (Parodi Pinedo, 1987, citado por Murphy *et al.*, 1989)

3.1.2.3.- Roseta

Este período, correspondiente al “B” de la escala de CETIOM (CETIOM, 1978), comienza luego de 4 a 8 días de la emergencia, donde comienza a formarse la roseta desde el momento que la plántula desarrolla la primer hoja verdadera (estadio B1). La planta establece una roseta con viejas hojas en la base, que se encuentran aumentando de tamaño, mientras pequeñas y jóvenes hojas se desarrollan en el centro.

El punto de crecimiento o ápice, produce hojas con un arreglo o filotaxia helicoidal, cada 130 °C.día entre hojas. La iniciación de las hojas, más rápida que la aparición de las mismas, determina que se acumulen primordios foliares alrededor del ápice. La duración (en días y °C.día) depende en gran magnitud de la fecha de siembra (Mendham *et al.*, 1995).

El sistema radicular continúa desarrollándose, creciendo rápidamente tanto la raíz principal, axonomorfa, en dirección vertical, como las raíces secundarias en la horizontal. Si bien el sistema radicular continúa su crecimiento hasta que finaliza la floración, el que las mayores reservas, tanto de carbohidratos no estructurales como de nitrógeno sean almacenadas al fin del período de roseta, le permite a las plantas entrar con adecuadas reservas al período de máximas tasas de crecimiento (elongación de varas florales) (Martino *et al.*, 1999; Mendham *et al.*, 1995).

B. napus usualmente desarrolla más y más largas hojas que *B. rapa*, lo que permite que la primera obtenga un mayor índice de área foliar (IAF), lo que le concede la capacidad de interceptar más luz, teniendo tasas de crecimiento más altas y mejor desarrollo radicular (Martino *et al.*, 1999).

La cantidad de hojas que las plantas logren desarrollar durante el período de roseta va a estar dado por la tasa de aparición de primordios foliares en el meristema apical, la tasa de desarrollo y de la duración de dicho período. Tanto la cantidad de primordios como la velocidad de aparición de los mismos, es característico de cada cultivar, siendo afectado por la temperatura, disponibilidad de nutrientes (nitrógeno principalmente) y por la competencia con otras plantas; mientras que el desarrollo de las subsecuentes hojas se encuentra afectado por la temperatura, disponibilidad de agua, nutrientes y luz (Martino *et al.*, 1999).

La producción y crecimiento de las hojas jóvenes gobierna la tasa con la cual la intercepción de la radiación solar es maximizada y las primeras hojas formadas son las primeras responsables del almacenamiento para el crecimiento radicular. Para un rango de plantas de tipo C3, la cantidad de radiación solar interceptada y la eficiencia con la cual es utilizada, es la mayor determinante del rendimiento biológico total (Daniels *et al.*, 1986).

La tasa de emergencia foliar en este período es más lenta que en posteriores fases de desarrollo, a diferencia de lo que ocurre con otros cultivos como trigo. Esta diferencia

puede encontrarse asociada con el cambio en la morfología de las hojas cuando comienza la elongación de tallos, donde las hojas cambian de pecioladas a sésiles (Miralles *et al.*, 2001).

Los cultivares invernales producen entre 12 y 30 hojas para siembras tardías y tempranas respectivamente, mientras que los cultivares primaverales en Canadá, solo produce unas 7 hojas (Mendham *et al.*, 1995).

Durante este período de roseta, las hojas grandes tienen un ángulo intermedio con el tallo, estando curvadas con una orientación horizontal, dando un coeficiente de extinción (k) de la luz de 0.6 o mayor (Mendham *et al.*, 1995).

El tamaño que logra alcanzar la planta antes de diferenciarse al estado reproductivo, tiene gran influencia sobre el rendimiento logrado a cosecha. En trabajos ingleses, con cultivares invernales, se determinó que el atraso en el momento de siembra limita el tamaño que la planta logra antes de iniciarse la inflorescencia, lo que tiene efectos detrimentales sobre la productividad. Cultivos que son sembrados tempranos, si bien florecen con anterioridad, pueden permitirse perder una proporción de flores tempranas por heladas o por otros factores, sin pérdidas en rendimiento, porque las plantas tienen la capacidad de reserva completa como para producir silicuas compensatorias (Mendham *et al.*, 1975).

En los cultivos vigoroso, que fueron sembrados temprano, por lo menos no habrían efectos adversos en el rendimiento, donde probablemente, la mayoría de las últimas silicuas formadas contribuirían a producir una canopia densa. El daño de las primeras flores podría ser importante, cuando otros factores como la falta de nutrientes, agua o radiación se encuentran limitando la expresión de una respuesta compensatoria (Mendham *et al.*, 1975).

3.1.2.4.- Elongación

Con el aumento de la temperatura y del largo de los días (en cultivares con respuesta al fotoperíodo), comienzan a desarrollarse los meristemas que se encuentran en la axila de cada primordio foliar. El primer signo del inicio de la diferenciación floral puede ser una hinchazón en la axila de uno de los primordios foliares del ápice. En el centro de la roseta, uno de éstos meristemas ubicado en el ápice del tallo principal dará origen a un grupo de yemas florales, que conformarán el botón floral. Este último es quien se desarrollará, formando lo que serán las flores del racimo principal. El tallo principal comienza a elongarse rápidamente, volviéndose erguido. Las hojas remanentes sujetas al mismo, se abren al igual que el tallo se alarga. Los grupos de yemas florales se alargan y pequeños tallos sostienen al primer brote floral, donde los pimpollos se espacian, aún permaneciendo cerrados (Mendham *et al.*, 1995, Martino *et al.*, 1999, Canola Council, 2003).

Cuando el tallo principal de las yemas florales esta formándose, ramificaciones secundarias se levantan secuencialmente desde las yemas que se desarrollan en la axila de las hojas superiores y ocasionalmente desde las axilas de algunas hojas bajas del tallo principal (Figura 1), siguiendo una dirección basípeta dentro de este último (Mendham *et al.*, 1995). Esas ramas secundarias desarrollan de 1 a 4 hojas y un solo grupo de yemas florales (inflorescencias) (Canola Council, 2003). En el ápice del tallo principal, el desarrollo de las flores continúa acrópetamente, con los sépalos en cada primordio haciéndose obvios, seguidos por la formación del pedúnculo.

El desarrollo de pétalos, gineceo y androceo ocurre cuando los primordios florales comienzan a diferenciarse a simple vista. Durante este estadio, ocurre meiosis en la célula madre del polen y son liberadas las micrósporas de las tétradas. A su vez, comienza la diferenciación de los óvulos dentro del ovario, completando el desarrollo de las flores cuando los primordios florales toman color amarillo (Mendham *et al.*, 1995).

La diferenciación de los meristemas puede estar dada por un alargamiento de los días, en el caso de los cultivares que responden al fotoperíodo, por un aumento de la temperatura o por ambos factores interaccionando. También es conocido que algunos materiales poseen requerimientos de frío, que de no ser cumplidos, la floración será escasa y desapareja, pudiendo no florecer. En el Uruguay, con éxito se ha sembrado un mismo cultivar en verano y en invierno. Las bases de la respuesta de la canola a la vernalización y al fotoperíodo no están claras, pudiendo ser el comportamiento de los distintos cultivares, respecto a estos dos factores, sumamente empírico (Martino *et al.*, 1999). Estos temas serán analizados posteriormente con mayor profundidad.

Tanto las temperaturas elevadas como los días largos que induzcan la floración, producen un acortamiento de las fases de roseta y de elongación, siendo de mayor magnitud relativa en la primera. La reducción de la etapa vegetativa es una de las principales causas vegetativas sobre la producción del cultivo (Castiglioni, 1987). Según Gómez, 2002, el rendimiento se define durante la elongación del tallo (desde la elongación del ápice hasta que la vara floral completa su desarrollo). Es allí donde se empieza a generar el número potencial de granos por unidad de superficie y cuando más influyen los factores ambientales.

La duración del período de elongación está más correlacionado con el rendimiento del cultivo que la del período anterior. Thurling y Vijendra Das, 1979, determinaron que una mayor longitud de la fase de elongación puede ser asociada con la producción de más silicuas en inflorescencias de mayor tamaño; por lo tanto esto determina que disminuciones en dicho período, si bien son relativamente menores, pueden perjudicar más que en el período de roseta (citado por Mendham *et al.*, 1995).

Otro factor que es fundamental para que la diferenciación de los meristemas se logre y comience la elongación, es el mínimo número de hojas desarrolladas requeridas por cada cultivar. En el caso de los cultivares europeos invernales, cuando son sembrados tarde, pueden estar completados sus requerimientos de vernalización cuando las plantas son pequeñas, pero solo luego de lograr el mínimo de 12 hojas, podrá iniciarse el período reproductivo. Cultivares primaverales canadienses deben tener un mínimo de 7 hojas, no siendo mucho mayor en condiciones de campo, siendo 6 hojas en algunos otros cultivares. Los cultivares índicos o chinos requieren también 6 hojas para que respondan satisfactoriamente (Martino *et al.*, 1999).

3.1.2.5.- Floración

La inflorescencia de las brassicas es racimosa y la floración es indeterminada. La flor es radial con cuatro sépalos alternados con cuatro pétalos, característico de la familia. Los pétalos son normalmente de color amarillo pálido, pero varía desde amarillo oscuro a casi blanco (Downey *et al.*, 1989; Downey *et al.*, 1987).

En *B. rapa* la antesis ocurre antes de la fase de rápido incremento de materia seca, mientras que en *B. napus* ocurre cerca del final de dicha fase, cuando el peso seco de la planta alcanza cerca del 50 % del total a cosecha (Thurling, 1974a).

La floración comienza con la apertura de la yema más baja del tallo principal (estadio "F1"), la cual se transforma en la inflorescencia terminal, continuando en dirección acrópeta, abriendo 3 a 5, o más flores por día (Canola Council, 2003). Los estigmas se encuentran receptivos por aproximadamente tres días antes y tres después de que se abren las flores (Downey *et al.*, 1987).

La floración del tallo principal dura de 14 a 21 días (Canola Council, 2003). En trabajos de Tayo y Morgan (1975), se determinó que si bien el período de apertura de flores duró 26 días en la totalidad de la planta, más del 75 % de las silicuas que eran retenidas se formaban a partir de las flores iniciadas en los primeros 14 días de antesis (Tayo *et al.*, 1975).

Las yemas de las axilas de las hojas del tallo principal se desarrollan en ramas en dirección basípeta. La floración en el primer tallo secundario comienza dos a tres días después del inicio de floración, siendo 4, 6, 7 y 8 días después del mismo, para la segunda, tercera, cuarta y quinta rama respectivamente (Mendham *et al.*, 1995, Tayo *et al.*, 1975).

En los racimos de *B. napus* las yemas florales, flores y silicuas se ubican en el mismo orden en el que se desarrollan; mientras que en los de *B. rapa* las flores más viejas se elevan por encima de las yemas florales, estando insertas por debajo de las mismas. La floración de *B. rapa* es de mayor duración, a la vez que presenta mayor

cantidad de tallos secundarios. Si bien la floración de estos es secuencial como en *B. napus*, es menos definida y más superpuesta (Mendham *et al.*, 1995).

Se han observado entre 8 y 5 ramificaciones del tallo de *B. napus* (Mc Gregor, 1981) para siembras tempranas y tardías respectivamente, terminando de florecer la mayoría de ellas con unos pocos días de diferencia. Por el contrario, los patrones de *B. rapa* son diferentes, con mayor ramificación, principalmente en siembras tardías a diferencia de la anterior especie. A su vez, el fin de la floración en ésta presenta demoras en las ramas más bajas. Siembras tempranas en *B. napus*, con bajas densidades (menos de 30 plantas/m²) puede producir más de 12 ramas primarias, correspondiendo con el gran número de nudos del tallo principal; mientras que en siembras tardías, así como a elevadas densidades poblacionales, la producción de las mismas se reduce a entre 2 y 7. Pueden también desarrollarse ramas secundarias en las axilas de brácteas de ramas primarias, pero la mayoría no producen silicuas con semillas (Mendham *et al.*, 1995).

Si bien, en general las plantas pueden llegar a tener nueve inflorescencias axilares, solo las cinco superiores podrán producir flores y silicuas, abortando los botones florales en las restantes ramas (Tayo *et al.*, 1975). Al inicio, la canopia de silicuas no es completamente fijada, dado que la planta es de crecimiento indeterminado, lo que le permite retener la capacidad de iniciar nuevos racimos reproductivos, por toda su vida. Este mecanismo de sobrevivencia de la especie determina que la madurez sea extendida, característica agronómicamente indeseable (Daniels *et al.*, 1986).

En el momento en que las flores se abren, el máximo número de óvulos potenciales dentro de cada silicua ha sido determinado. Los óvulos individuales, que pueden ser más de treinta por silicua, pueden ser cada uno fertilizados por un grano de polen. Dicho proceso de polinización puede ocurrir de tres maneras. A través de la autopolinización, la polinización cruzada vía anemófila y entomófila (Daniels *et al.*, 1986).

El polen es liberado cuando los pétalos están totalmente abiertos, siendo dispersado por viento y/o insectos. Las flores se abren por la mañana, cerrándose por la noche, encontrándose receptivas por tres días luego de la floración. Si las condiciones son favorables, todo el polen puede liberarse el mismo día. La fertilización ocurre 24 horas después de la polinización. Una vez polinizadas y fertilizadas, las flores se cierran y los pétalos se marchitan, cayendo 2 a 3 días después de la apertura de la flor (Canola Council, 2003).

En *B. napus*, si bien es una especie autógena, la polinización es pobre cuando no hay viento, pudiendo ser ayudada por insectos, los que llevan granos de polen al estigma, teniendo efecto tanto sobre la polinización cruzada como sobre la autopolinización. En promedio presentan un 30 % de fecundación cruzada resultado de

la polinización por viento e insectos (Downey *et al.*, 1987, Downey *et al.*, 1989, Mendham *et al.*, 1995.).

Bajo condiciones de campo el viento aumenta la transferencia de polen dentro y entre flores, probablemente por sacudida y contacto de las partes florales. Ante la presencia de abejas, las plantas son polinizadas más rápidamente, se caen los pétalos más temprano, la floración termina tempranamente y es más corta que sin abejas, pero esto se traduce en pequeñas diferencias en rendimiento. El número de semillas por silicua, justo después de floración es mayor en plantas polinizadas con abejas, pero en algunos años muchas semillas pueden perderse (Downey *et al.*, 1987, Mendham *et al.*, 1995).

Polinizadores como las abejas, pueden asistir al máximo número de óvulos a ser fertilizados, pero el que sobrevivan hasta la cosecha depende de otros factores como es el suministro de asimilados y agua. La disponibilidad de colmenas cerca del cultivo tienen beneficios potenciales, en cultivos capaces de soportar una gran cantidad de semillas (Mendham *et al.*, 1995).

En *B. rapa* generalmente ocurre polinización cruzada, debido a distintos grados de presencia de autoincompatibilidad, estando también afectado por la presencia de polinizadores (Downey *et al.*, 1989, Mendham *et al.* 1995). Dicha autoincompatibilidad es del tipo homomórfica, esporofítica, controlada por una serie de alelos S (Downey *et al.*, 1987, Downey *et al.*, 1989). La presencia de este alelo tanto en el polen como en el estigma inhibirá la germinación del grano de polen o impide la penetración del tubo polínico desde la superficie del estigma (Bateman, 1955 citado por Downey *et al.*, 1987).

Las condiciones climaticas-ambientales afectan enormemente la actividad de los polinizadores, así como la polinización. En el caso del cultivar Topas, de *B.napus*, en un ensayo llevado por Becker *et al.* (1992), la polinización cruzada vario del 12 al 47 % en cinco lugares diferentes, dependiendo de las condiciones ambientales (Mendham *et al.*, 1995).

Como *B. napus*, las otras dos especies anfigéneas autofértiles son *B. juncea* y *B. carinata*. *B. juncea* mostró un promedio de cruzamiento entre plantas de 18.7 % comparado con un 21.8 % en *napus* (Mendham *et al.*, 1995).

Mientras el período de floración efectiva en el campo es más largo que en condiciones de invernáculo, donde las temperaturas son más bajas, las ultimas flores, además de consumir nutrientes, son un factor detrimental, al reflejar o absorber más del 60 % de la radiación solar incidente, sombreando hojas y las silicuas más precoces (Mendham *et al.*, 1995).

Si bien la posición en la planta es el mayor determinante de la probabilidad de que una flor forme una silicua, los factores ambientales también operan. Según Leterme (1981), existe una relación entre la cantidad de radiación solar interceptada por todo el canopéo por unidad floral, con la probabilidad de que ésta llegue satisfactoriamente a silicua. El estrés hídrico y nutritivo, puede también acortar la floración o limitar su cuajado. Existe una relación directa entre la fecha de la última aplicación de nitrógeno y la proporción de cuajado (Mendham *et al.*, 1995).

Siembras tempranas producen una enorme cantidad de flores, pudiendo llegar a 25000 flores/m², aunque una pequeña proporción es perdida en y luego de la floración, debido probablemente a una pobre polinización. La mayoría son perdidas como flores o jóvenes silicuas que abscinden, o donde todas las semillas abortaron y las silicuas permanecen pequeñas (Mendham *et al.*, 1995).

Generalmente se desarrollan más botones de los que originarían silicuas productivas. Entre un 40 y un 55% de las flores producen silicuas productivas a cosecha, proviniendo la mayoría de éstas de los primeros 15 días de floración, en el tallo principal y primeras ramas. Las flores y silicuas más tardías suelen abortar (Canola Council, 2003). Poco menos de la mitad sobreviven como silicuas hasta la cosecha, pero aun en siembras tardías, con 6000 silicuas potenciales/m², apenas un poco más de la mitad sobrevivirán. La mayoría de las pérdidas ocurren en un período de 3 a 4 semanas, luego de una semana de que el 50 % de las plantas comenzaron la floración (estado F1 de CETIOM). Dicho período corresponde con el momento de máximo crecimiento de la cascara de las silicuas, el cual puede también ser un período de máxima demanda de asimilados y nutrientes (Mendham *et al.*, 1995).

Mendham *et al.* (1981) determinó que para un consistente número de óvulos, de alrededor de 30 por silicua (semillas potenciales por silicua) en floración, el número de semillas que sobreviven disminuye a lo largo de un período de tres semanas, volviéndose estable en las últimas tres a cuatro semanas antes de la maduración. Los datos muestran que al existir diferentes edades, la estratificación en tres secciones dentro de la canopia disminuye la variación dentro de cada nivel en una semana. En la densa canopia de silicuas de siembras tempranas, la pérdida de semillas es mayor y concentrada en los estratos bajos de la canopia; mientras en siembras tardías, con poca competencia entre silicuas, las diferencias son pocas en el aborto de semillas entre niveles dentro del cultivo (Mendham *et al.*, 1981, Mendham *et al.*, 1995).

Condiciones desfavorables durante el comienzo de este período, pueden causar abortos, los cuales pueden ser compensados a través del desarrollo de botones, que de otra manera hubieran abortado. En caso de que las ramas superiores sufrieran daños, la recuperación podría ser a través del crecimiento de nuevos tallos desde las yemas axilares superiores (Canola Council, 2003). En caso de sufrir heladas a floración, esto

puede traducirse más tarde en una sección del tallo con botones, flores o silicuas abortadas (Mendham *et al.*, 1995).

A mitad de floración, cuando las silicuas de más abajo se están elongando, el tallo pasa a ser la fuente principal de alimento para la planta, siendo una pequeña proporción proveniente de las hojas viejas y silicuas desarrolladas. Existe competencia entre flores y silicuas de la misma rama, así como entre ramas, por fotoasimilados; donde las silicuas más tempranas tienen ventajas competitivas por encima de las más tardías (Canola Council, 2003).

La ocurrencia de cualquier factor que cause estrés al cultivo, provoca cambios en el flujo de nutrientes para el desarrollo de grupos florales, principalmente afectando el desarrollo de flores y silicuas. Una disminución en el suministro durante el desarrollo de las silicuas, resulta en menos flores y silicuas que maduraran. Las silicuas pueden ser más chicas, con menos semillas y de menor tamaño; especialmente en las últimas ramas, y en la punta de éstas (Canola Council, 2003).

Las altas temperaturas afectan la floración, aceleran el desarrollo, disminuyen el período de floración a madurez, acorta el período receptivo al polen de las flores, la duración del período de liberación del polen y su viabilidad; ocasionando pérdidas de rendimiento (Robertson *et al.*, 2001). A su vez, las altas temperaturas durante el llenado de grano disminuyen la concentración de aceite de los mismos. Esto se encuentra muy relacionado con la fecha de siembra, dado que atrasos en la misma pueden llevar a obtenerse bajos rendimientos, debido a que las altas temperaturas durante el llenado pueden interrumpir el mismo al igual que disminuir las concentraciones de aceite (Robertson *et al.*, 1999).

Por el contrario, las bajas temperaturas, más precisamente las heladas, pueden afectar el rendimiento del cultivo, fundamentalmente si ocurren cerca del fin del período de floración o temprano en el llenado de granos. Según Robertson *et al.* (2001), la estrategia recomendada para minimizar el riesgo por heladas es ajustar el cultivar con la fecha de siembra, de manera tal que la floración ocurra luego del período promedio de riesgo de heladas.

Antes de que el cultivo florezca, el tallo alcanza del 30 al 60 % de la máxima longitud, siendo las mismas proporciones de la materia seca total producida, dependiendo de las condiciones de crecimiento (Canola Council, 2003). *B. rapa*, florece antes, lo que explica en parte las diferencias en el potencial de rendimiento con *B. napus*.

Cuando la mitad de las flores se han abierto, se logra el mayor IAF, siendo de un valor de cuatro en *B. napus*, mientras en *B. rapa* es algo mayor de tres (Mendham *et al.*, 1995). La raíz completa su desarrollo en las últimas etapas de la floración. El que *B.*

napus florezca con mayor desarrollo del área foliar que *B. rapa*, explica el menor desarrollo radical de esta última, lo que en conjunto explica en parte el menor potencial de rendimiento.

Es necesario lograr una elevada y fotosintéticamente eficiente área foliar al período de antesis y posterior al mismo, cuando el número de semillas por silicua está siendo fijado y también para minimizar el número de inflorescencias improproductivas (Allen *et al.*, 1974).

3.1.2.6.- Maduración

Este período comienza con la caída de los pétalos desde la última flor formada en el tallo principal. La floración en los últimos tallos secundarios formados, puede continuar por mucho tiempo, luego de que haya terminado en el principal. Las silicuas más viejas en las ramas florecidas están desarrollándose, cuando las nuevas flores aún se encuentran iniciándose en la punta de las mismas (Canola Council, 2003).

Muchos óvulos fallan en los primeros días pos antesis, debido principalmente a fallas en la fertilización. Otros abortos ocurren 4 a 8 días luego de la floración, siendo más frecuente en silicuas cercanas al ápice de la inflorescencia y en semillas distales dentro de cada silicua.

Las silicuas comienzan a crecer rápidamente en longitud y luego en peso, unos días después de la antesis. En el caso de las semillas, este rápido crecimiento es demorado por cerca de 20 días. El incremento en el ancho de las silicuas y en el tamaño de las semillas comienza dos días luego que aumentó la longitud y continúa por 20 días. Las silicuas llegan cerca de su máxima longitud antes de que el crecimiento de las semillas comience, a su vez éstas tienen solo el 35 % de su peso seco final cuando la pared de las silicuas ya ha alcanzado su peso seco y tamaño final. Las paredes de las silicuas no ganan más peso seco luego que comienza la deshidratación, aproximadamente a los 50 días pos antesis, donde las semillas tienen un porcentaje de materia seca de 42; dicho período de deshidratación, transcurre desde los 50 a los 75 días post-antesis (Mendham *et al.*, 1995).

La ocurrencia de una fase de incremento de la longitud de las silicuas a altas temperaturas causan un acortamiento del crecimiento de las silicuas, así como tempranos abortos. Esto último se encuentra interrelacionado con el tamaño de la silicua, dado que cercano a secciones abortadas, las silicuas crecen menos en longitud y ancho (Mendham *et al.*, 1995).

El desarrollo de las silicuas puede ser dividido en tres estados. En el primero, el crecimiento de las silicuas es más rápido que el de las semillas (primeros 16 días pos-floración). La acumulación de nitrógeno en ellas se hace máximo, mientras las semillas

presentan un elevado contenido de proteína pero un contenido de aceite y una composición en ácidos grasos similar al tejido fotosintético (Diepenbrock *et al.*, 1979).

Durante la segunda fase, la materia seca de las silicuas comienza a disminuir (16-32 dpf), ya que comienzan a actuar como un órgano exportador. Las tasas de acumulación de materia seca en las semillas crece hacia el máximo. El contenido de proteína de la semilla disminuye mientras el contenido de aceite aumenta rápidamente, a la vez que se llega a la composición de ácidos grasos final (Diepenbrock *et al.*, 1979).

En el tercer estado, las silicuas continúan perdiendo materia seca y la tasa de acumulación de materia seca en semillas disminuye sustancialmente (32 dpf-madurez) (Diepenbrock *et al.*, 1979).

A su vez, los patrones de acumulación de materia seca en las semillas de silicuas ubicadas en distintas ramas florales son diferentes. Existe una mayor y más temprana acumulación de materia seca en las semillas de las inferiores ramas, mientras que la acumulación final siempre es mayor en las semillas ubicadas en el tallo principal y ramas superiores. Esto podría resumirse bajo una curva de acumulación de materia seca, donde las semillas del tallo principal siguen una curva más sigmoide, con una “fase lag” más pronunciada, que permitiría una mayor acumulación final de materia seca. La menor acumulación de materia seca de las semillas de ramas inferiores en el segundo estado de desarrollo, es consecuencia de una carencia de asimilados en dichas ramas a causa de la ocurrencia de máximas tasas de desarrollo en el tallo principal por un largo periodo de tiempo (Diepenbrock *et al.*, 1979).

El contenido de aceite aumenta de similar manera que el peso seco de las semillas. Comienza a acumularse 20 días pos antesis, siguiendo una acumulación sigmoide, alcanzando un máximo a los 60 días pos antesis, momento en el que las semillas han alcanzado el 70 % de la materia seca final. Los frutos maduros (silicuas) contienen cerca de 23 semillas, las que constituyen cerca del 61 % del total del peso seco de los frutos (Mendham *et al.*, 1995).

Dentro de las características que definen al período de madurez del cultivo, Diepenbrock *et al.*, (1979), definen a una planta ideal de canola para obtener elevados rendimientos mediante tres características:

- Elevada proporción de silicuas en el tallo principal, mediante baja cantidad de ramas y alta frecuencia de vainas en el primer racimo floral,
- Crecimiento y desarrollo de las silicuas dentro y entre ramas debe proceder simultáneamente, de manera de evitar el desarrollo acelerado de las silicuas,
- Elevada actividad de las silicuas como órgano exportador de asimilados.

Con respecto a la vía en que los asimilados son utilizados por el desarrollo de las inflorescencias, existen diferencias entre las dos especies más importantes. Dado que las inflorescencias de *B. rapa* son más ramificadas, el limitado input de asimilados debe ser particionado entre un mayor número de puntos de crecimiento dentro de la inflorescencia, por lo que una proporcionalmente menor cantidad estará disponible para el desarrollo de las semillas en cada silicua. Como una consecuencia de esto, las semillas formadas en cada silicua de *B. rapa* serán significativamente menores en número y peso que las de *B. napus* (Thurling, 1974b).

Durante las primeras dos semanas de desarrollo de la semilla, su cobertura se expande hasta que llega a su tamaño final. En dicho estado, la semilla es translúcida y parece un balón lleno de agua. Durante este momento, el embrión crece rápidamente dentro de la cobertura de la semilla (Canola Council, 2003). Las semillas desarrolladas son verdes, pero los embriones pierden ese color, tornándose amarillo brillante cuando se aproximan a la madurez fisiológica. Simultáneamente, la cobertura de la semilla se vuelve negra, marrón rojiza o permanece translúcida, dependiendo del genotipo de la planta. A la madurez, el embrión constituye cerca del 85 % del peso de la semilla, correspondiendo el resto a la simple y fina capa de endosperma y la testa (Downey *et al.*, 1987).

Las semillas verdes y firmes, tienen suficientes reservas de aceite y proteína para soportar la germinación y crecimiento de la plántula. En el estado donde la semilla de las silicuas bajas se vuelven verdes, muchas de las hojas mueren y la pared de la silicua se vuelven la mayor fuente de asimilados, sin embargo el tallo es aún una importante fuente. Contrariamente, las silicuas también son la mayor fosa de asimilados desde otra fuente, para el desarrollo de las semillas (Canola Council, 2003).

El primer componente en ser determinado es el número de silicuas/m², siendo solapado en cierto grado por el segundo componente, el número de semillas/silicuas, donde similares factores afectan a ambos (Mendham *et al.*, 1995).

En trabajos de Tayo *et al.*, (1975) sobre cultivares primaverales en invernáculo, se determinó que un 25 % del total de las flores se encontraban en el tallo principal, elevándose al 38 % del número de silicuas finales en el mismo. La proporción de flores que formaron silicuas disminuyó desde un 68 % en el tallo principal al 22 % en la quinta rama, siendo el promedio de flores que cuajaron en toda la planta del 45 %. Muy pocas de las flores que abrieron después de los 18 días de comenzada la floración, en cualquier rama, lograron formar silicuas que lleguen a cosecha (Tayo *et al.*, 1975, Mendham *et al.*, 1995).

Si bien la región basal del tallo principal es más productiva que la superior, en cultivos densos, la situación puede ser otra. Las flores más tempranas tienen mayor probabilidad de ser atacadas por plagas, al existir un menor número de flores al inicio de

floración. A su vez, a menos que sean autofertilizadas, las chances de polinización son menores que las otras flores que abren cuando la disponibilidad de polen e insectos polinizadores trabajando en el cultivo es considerablemente mayor. A esto se le suma que el desarrollo de las silicuas superiores producirán sombreado sobre ellas. Estudios han determinado que la mitad superior del tallo terminal suele contribuir en mayor magnitud al rendimiento (Daniels *et al.*, 1986).

El período en el cual se pierden semillas, coincide con el principal crecimiento de la pared de las silicuas y antes de que las mismas semillas comiencen el rápido incremento de peso seco (Mendham *et al.*, 1995). Existe un período crítico de dos a tres semanas luego de la floración, de ocurrencia de abortos (Tayo *et al.*, 1975, Mendham *et al.*, 1995).

B. napus es menos afectada por las altas temperaturas que *B. rapa* cuando las silicuas están formadas, siendo más tolerante a las altas temperaturas en este período. Generalmente el contenido de aceite es mayor cuando la semilla madura a bajas temperaturas, del orden de los 10 a 15 °C (Canola Council, 2003).

El tamaño final de la semilla varía grandemente entre genotipos y también dentro de un cultivar. Los trabajos de Mendham *et al.* (1981) marcan el comienzo de la fase de crecimiento de la semilla a los 23 días luego de la floración. La duración de dicha fase varia de 35 a 55 días, siendo inversamente proporcional a la temperatura. La tasa de crecimiento por semilla oscilo entre 0.08 a 0.12 mg día⁻¹, estando condicionado por el suministro de asimilados y agua (Mendham *et al.*, 1981, Mendham *et al.*, 1995).

Si bien el número potencial de silicuas por planta y semillas por silicua está determinado en la floración, el número final no está establecido hasta más tarde. La semilla puede constituir entre un 15 y un 35 % del total de la materia seca. Las hojas, tallos y especialmente la superficie de las silicuas deberían encontrarse libre de daños por insectos o agua, cualquier cosa que disminuya la fotosíntesis causaría mermas en el rendimiento de semilla (Canola Council, 2003).

El llenado de grano es seguido por el estado de madurez, caracterizado por un cambio de color en la planta. Cuando la floración terminó, muchas de las hojas están amarillas o han abscindido; los tallos y silicuas comienzan a tornarse amarillos, volviéndose progresivamente quebradizos, consecuencia de la pérdida de humedad. Las silicuas son divididas en dos por una membrana que se ubica a lo largo de la misma. Normalmente contienen entre 15 y 40 semillas. Las silicuas más tempranas son más largas y desarrollan más largas y mayor cantidad de semillas (Canola Council, 2003).

Las semillas inmaduras tienen cerca del 40 % de humedad, cuando se llenen, la cobertura de la semilla se torna de verde a amarillo o marrón, dependiendo de la variedad. La humedad comienza a perderse rápidamente, 2 a 3 % por día, dependiendo

de las condiciones de crecimiento. De 40 a 60 días luego de la primer flor, las semillas en las silicuas más bajas se encuentran maduras, habiendo cambiado de color completamente. El embrión que ocupa toda la semilla comienza a perder color y cuando la semilla está totalmente madura toma un color uniformemente amarillo brillante. En el momento en que cerca del 30 al 40 % de las semillas de una planta comienzan a mostrar un cambio de color de la cobertura a negro o amarillo (según la especie), las semillas correspondientes a las últimas silicuas formadas se encuentran en las últimas etapas de llenado, donde la humedad promedio de la silicua está en 30-35 %. Generalmente cuando todas las semillas cambiaron de color, la planta muere. Las silicuas maduras se dividen fácilmente a lo largo, por la membrana central, por lo que las semillas caerán .

Las variaciones en rendimiento, se encuentran mayormente basadas en el número de silicuas por planta y semillas por silicua. Esas diferencias en los caracteres determinantes de rendimiento están asociados con grandes diferencias en IAF en la etapa temprana de apertura de flores. Esto permite mantener una mejor tasa de suministro de asimilados carbonados a las silicuas, cuando el número de las mismas y de las semillas que contienen ya han sido determinadas (Allen *et al.*, 1974).

Las diferencias en el peso de granos que han habido, se han asociado a una disminución en el peso de la cáscara de la silicua, lo que sugiere que existe un movimiento de asimilados desde ésta última a las semillas, siendo éste un importante factor en determinar el peso de las semillas (Allen *et al.*, 1974).

En el caso de *B. rapa*, el índice de cosecha es uno de los factores más importantes en determinar el rendimiento, habiendo sido determinada una correlación de 0.73, en ensayos australianos, existiendo cierta relación, aunque menor, con la materia seca total. A su vez, la fase de crecimiento pos antesis en ésta especie, tuvo mayor significancia en determinar el rendimiento que la fase vegetativa, siendo la primera, la fase en que se acumula la mayoría del peso seco de la planta, en contraposición con *B. napus*.

También un carácter como la duración del área foliar luego de la antesis, puede ser un importante criterio de selección (Thurling, 1974a). En el caso de *B. napus*, el rendimiento se encuentra afectado por otros factores, los cuales serán descritos con mayor profundidad en el siguiente capítulo relativo a respuesta a fertilidad en dicha especie.

El tallo es la mayor fracción en el rastrojo, el cual tiene en promedio una digestibilidad usualmente no mayor del 44 %, lo cual significa que no presenta valor como fuente alimenticia. El rol estructural en soportar las partes reproductivas es crucial durante las últimas semanas antes de la cosecha, cuando el contenido de humedad de la semilla está disminuyendo. A su vez, frente a defoliaciones tardías, no se producen

reducciones dramáticas en el rendimiento, debido probablemente a la movilización de reservas del tallo (Daniels *et al.*, 1986).

3.1.3.- Factores que afectan el desarrollo fenológico

El cultivo de canola se caracteriza por presentar sus estados de crecimiento enormemente influenciados por diferentes factores tales como la temperatura, humedad, luz, nutrición y variedades.

Muchos de éstos factores pasan a ser determinados por la fecha de siembra, la cual tiene incidencia directa fundamentalmente sobre el fotoperíodo, aunque también en gran manera sobre la temperatura que estará afectando el desarrollo de las plantas. Esto determina que la duración de las distintas etapas fenológicas no sea la misma, para distintas épocas de siembra, lo que también puede incidir sobre los parámetros que determinan el rendimiento final.

En ensayos de fecha de siembra, los rendimientos siempre fueron superiores en el caso de *B. napus*, donde las siembras tempranas (19 de abril, Perth, Australia.) determinaban mayores rendimientos al igual que períodos a floración más largos para ésta especie. En el caso de *B. rapa*, se obtuvieron los mayores rendimientos en siembras realizadas un mes más tarde, coincidiendo esto, al igual que la anterior especie, con una floración más tardía, pero floreciendo en todas las fechas de siembra sustancialmente más temprana que *B. napus* (Thurling, 1974a).

Tanto en *B. napus* como en *B. rapa*, un atraso de dos meses en la siembra es acompañada por una marcada reducción en el total de materia seca de la planta a cosecha. A su vez, esa producción total siempre fue mayor en *B. napus*, disminuyendo las diferencias al atrasar la fecha de siembra (Thurling, 1974a).

La duración de la fase inicial de crecimiento, tiende a disminuir con el atraso de la siembra, pero teniendo poca variación respecto al total de materia seca acumulada en ese período. Las diferencias en duración de esta fase entre la primer y última siembra, está relacionada con la dirección de los cambios en temperatura y radiación solar luego del período inmediato a la siembra. A su vez, estos factores determinan que la tasa de asimilación neta ($TAN = \text{gr/m}^2/\text{día}$) sea más baja en la primera época de siembra, dado que se encuentran en los menores niveles (Thurling, 1974a). En la región, tanto en Argentina y Brasil como en Uruguay, el momento de siembra que aparentemente más se ajusta a las condiciones climático-ambientales abarca los meses de mayo y junio, siendo óptimo entre la segunda quincena de mayo y primera de junio (Castiglioni, 1987, Martino *et al.*, 1999, Van Oppen, 2000a, Alves, 2000).

A su vez, estos distintos factores pueden interactuar entre ellos, afectando de distinta manera el desarrollo de las plantas. Los componentes de rendimiento varían con

los momentos de siembra de distinta manera dependiendo de la variedad y la especie. En *B. napus*, tanto el rendimiento, el número de ramas con silicuas y el número de silicuas/planta, disminuyen con el atraso del momento de siembra, a la vez que el número de semillas/silicua aumenta. En *B. rapa*, si bien al igual que en la anterior especie, el número de ramas con silicuas y el número de silicuas/planta disminuyen; dada la interacción “época de siembra x especie”, ese atraso de la siembra determina que el rendimiento sea mayor, a la vez que el peso de las semillas sea mayor en las últimas siembras, mientras que en *B. napus* lo fue en la primer fecha de siembra. El incremento de la influencia de la interacción “cultivar x época de siembra” se asocia con una disminución de la contribución de los componentes ambientales (Thurling, 1974b).

La temperatura puede afectar la duración de las etapas fenológicas a través de los requerimientos de frío (vernalización) que puedan tener algunos cultivares, así como a través de la acumulación térmica (grados días o suma térmica) necesaria para cumplirse cada una de las etapas de desarrollo del cultivo. Otro factor muy importante es la duración de los días y la influencia que el fotoperíodo tiene sobre la diferenciación al estado reproductivo de los puntos de crecimiento.

Las altas temperaturas y el aumento de la duración del día promueven el pasaje de la fase vegetativa a la reproductiva (Bretschneider *et al.*, 1967; Pascale, 1985; Parodi Pinedo, 1987 citados por Murphy *et al.*, 1989). Temperatura, fotoperíodo y vernalización, aunque con requerimientos menores en la colza de primavera que en la de invierno, participan en la regulación de la iniciación floral. La importancia relativa de estos factores varía según el material genético de los cultivares utilizados (Myers *et al.*, 1982; Thurling, 1972; Bengtsson *et al.*, 1972; citados por Murphy *et al.*, 1989)

3.1.3.1.- Suma Térmica

3.1.3.1.1.- Temperatura base y métodos de cálculo

El cultivo presenta una respuesta básica a la temperatura. Existen diversas ideas sobre cual es el umbral de temperatura necesario para que el cultivo logre crecer y desarrollarse, así como diferentes métodos de cálculo de la suma térmica.

Según el “Canola Growers Manual”, la temperatura mínima (umbral o temperatura base) necesaria para que el cultivo crezca es de 5°C, considerándose que logre un buen crecimiento a temperaturas mayores a 12°C y menores a los 30°C, siendo el óptimo de desarrollo y crecimiento por encima de los 20°C.

Estos últimos valores también fueron encontrados por Gvozdkova, (1985), (citado por Murphy y Pascale, 1989), quien concluye que temperaturas altas (25-30°C), inhiben el crecimiento de las plantas y disminuyen abruptamente la calidad de la semilla.

Sin embargo, Murphy *et al.*, (1989), consideran como la temperatura “cero de crecimiento” los 6 °C

Los grados días (suma térmica) necesarios para completar el ciclo de *B. Napus* son en promedio similares a los requeridos por trigos primaverales, rondando los 1040 °C.días. En el caso de *B. Rapa*, son necesarios 850 °C.día, similar a cebada (Canola Council, 2003).

Morrison *et al.* (1989), (citado por Kimber *et al.*, 1995), establece una relación logarítmica entre la temperatura media y el porcentaje de desarrollo para la madurez fisiológica bajo la siguiente función: $y=2.01*\log Tm-1.36$, la cual presenta una correlación de $r^2=0.971$. Esta ecuación permite estimar la tasa de desarrollo, expresada como el porcentaje del tiempo total para madurar, por día. La variación que presentan los resultados disminuye a medida que el cultivo se desarrolla, siendo significativa en el período de siembra a emergencia, consecuencia de la dependencia de este último estadio, principalmente de la temperatura del suelo y de las condiciones hídricas, no estando tan afectada por la temperatura del aire. Morrison, toma como temperatura base $4.77 \pm 1.50^\circ\text{C}$, por extrapolación de la anterior ecuación, próxima a los 5°C usados en otros cultivos para el calculo de la “suma térmica”, realizando para el cálculo de la misma, la suma de las temperaturas media diaria del aire entre dos estadios.

Según Mendham *et al.* (1981), existe una relación lineal entre la temperatura media del aire y los días desde mitad de floración a la maduración, la cual se resume bajo la ecuación $y=185-7.8x$, donde por cada grado que la temperatura aumenta, el cultivo madurará cerca de ocho días más temprano, pudiendo ser válida solo para un rango de entre 12 y 16 °C (Mendham *et al.*, 1981, Mendham *et al.*, 1995).

Hodgson (1978)(citado por Kimber *et al.*, 1995) estudiando cultivares primaverales en Australia, según los diferentes estadios, utilizó como temperatura base para *B. rapa* valores que oscilan de 3 a 7°C , mientras que para *B. napus* valores entre 0 y 6°C . Hodgson obtuvo similares resultados, tanto utilizando el método de intercepción, al igual que Morrison, como utilizando rango de temperaturas base. Por este último método el rango que presentaba el menor coeficiente de variación fue el de 2 a 4°C .

Leterme (1988), (citado por Kimber *et al.*, 1995), utiliza 0°C como base para el desarrollo, mientras que 5°C para el crecimiento. Según Hodgson, la temperatura base es algo que puede ser afectado por la existencia de respuesta a la longitud del día.

3.1.3.1.2.- Duración de los estadios

El tiempo requerido para germinar varía desde 11 a 14 días a 2°C , así como un día a temperaturas entre 21 y 25°C . Según Leterme (1988), se requieren entre 130 a 140 °C.día para germinar (por encima de 0°C) (Mendham *et al.*, 1995). Otros autores

mencionan una temperatura base de 6°C y que, a pesar de esto, sería conveniente efectuar la siembra cuando la temperatura del suelo es de 8 a 10°C para favorecer una emergencia y enraizamiento rápidos (CETIOM, 1974; Parodi Pinedo, 1987 citados por Murphy *et al.*, 1989). En ensayos realizados en Argentina, el período a emergencia varió, según la fecha de siembra, entre 140 y 220°C.día, tomando una temperatura base de 0°C (Miralles *et al.*, 2001).

Durante el período de roseta, el punto de crecimiento o ápice produce primordios foliares distanciados alrededor de 130 °C.día. La iniciación de los primordios foliares (plastocrón) es más rápida que la aparición de las hojas (filocrón), donde son visibles muchas hojas, pero pocas se encuentran completamente expandidas, produciendo acumulaciones de primordios foliares alrededor del ápice. Las duraciones (en días y °C.día) dependen de la fecha de siembra. Según Leterme (1988), (citado por Kimber *et al.*, 1995), el tiempo térmico requerido por *B. napus* para iniciar una hoja (plastocrón) ronda los 20 a 60 °C.día, dependiendo del suministro de nitrógeno y de la población de plantas.

En Argentina, en ensayos con cultivares primaverales de diferente ciclo y origen sometidos a distintos fotoperíodos, se observó que las hojas tempranas mostraron mayores filocrones que las tardías, ocurriendo el cambio en la sexta hoja (Gómez, 2003). En cultivares primaverales en Canadá, aparecen hojas cada 4 días o 46 °C.día por encima de 5°C o 66 °C.día, si se tomase 0 °C como temperatura básica (Mendham *et al.*, 1995).

Además de los efectos directos que tiene la temperatura sobre la diferenciación a estado reproductivo de las plantas, al afectar la tasa de aparición de hojas, también afecta indirectamente el comienzo de la elongación de las plantas, al determinar el tiempo necesario para lograr un mínimo de nudos requeridos para que ocurra dicho cambio fisiológico.

La temperatura es el principal factor controlando el desarrollo de la etapa reproductiva hasta cosecha. Según Morrison *et al.* (1989), para madurar se necesitan cerca de 715 °C d por encima de 4,2 °C, desde mitad de floración hasta la cosecha (Mendham *et al.*, 1995).

Temperaturas bajas, algo superiores a 0 °C, después de la floración disminuyen la velocidad de desarrollo de las plantas, la apertura de las flores y la producción de polen. Por lo contrario, elevadas temperaturas durante la floración, aceleran el desarrollo de las plantas, acortando la fase a la madurez, el tiempo en que las flores se encuentran receptivas al polen y el período de producción del mismo (Parodi Pinedo, 1987 citado por Murphy *et al.*, 1989).

Según Leterme (1988), la fase de incremento de la longitud de las silicuas y probablemente de aborto de semillas, oscila entre 200 y 300 °C.día. Mendham *et al.*

(1981), estimó una longitud de dicha fase de 19 a 25 días, siendo para siembras tardías correspondiente a unos 300 °C.día, con temperaturas promedio de 15 y 12 °C respectivamente (Mendham *et al.*, 1995).

3.1.3.2.- Vernalización

La vernalización es un requerimiento de frío que muchas plantas poseen, sin el cual no pueden florecer. Muchos cereales tienen este comportamiento, un buen ejemplo es el trigo. Muchas veces las plantas o sus semillas son tratadas con frío y entonces pueden florecer en un año donde no se cumpla el período requerido por las mismas; a este tratamiento también se le llama vernalización (Bidwell, 1974).

La vernalización puede ser absoluta, como es el caso de muchas bienales que no pueden florecer en ausencia de este factor. Sin embargo, muchas anuales invernales, como es el trigo invernal, tienen una respuesta cualitativa a la vernalización. En estas plantas la respuesta es mejorada por el incremento del período de frío (Bidwell, 1974).

Los sitios de percepción de este fenómeno no están del todo claros, aunque ha sido ampliamente aceptada la hipótesis de que el meristema apical es quien percibe las bajas temperaturas (Bidwell, 1974, Zeevaart, 1963). Es probable que este en distintas partes en diferentes plantas (Bidwell, 1974).

Este mecanismo de regulación de la floración es más comúnmente encontrado en latitudes más altas, donde hay períodos de muy bajas temperaturas en invierno. Además es más frecuentemente encontrado en plantas de día largo (Bidwell, 1974).

En canola, no todos los cultivares tienen éstos requerimientos de frío, necesario para pasar de la etapa vegetativa a la reproductiva. Los cultivares de tipo invernales requieren un substancial período de frío para que la floración no se demore; en el caso de los primaverales este mecanismo existe solo en algunos cultivares (Mendham *et al.*, 1995). En experimentos realizados por la Facultad de Agronomía de Buenos Aires, se encontró respuesta a la vernalización en los tres materiales primaverales analizados (Impulse, Mistral y Zafiro). En dicho trabajo, los cultivares Zafiro y Mistral fueron los que presentaron menor y mayor sensibilidad de respuesta a la vernalización respectivamente, siendo la etapa de emergencia a botón floral, la que presentó la mayor respuesta (Gómez *et al.*, 2001).

Es sabido que existen cuatro genes que determinan la respuesta a vernalización. Los cultivares invernales europeos tienen probablemente los cuatro genes en forma recesiva, requiriendo vernalización antes de florecer. Variedades muy tempranas de *B. rapa* de la India presentan pequeña respuesta a la vernalización. Salisbury *et al.* (1991), demostraron que dentro de los cultivares primaverales, los europeos tienen la mayor

sensibilidad a la vernalización, mientras que los australianos resultaron intermedios, siendo los canadienses los menos sensibles (citado por Mendham *et al.*, 1995).

Si bien los requerimientos de frío varían grandemente de acuerdo al cultivar seleccionado, en trabajos Argentinos realizados sobre zonas de similares latitudes a las de Uruguay, se afirma que no existen dificultades para la satisfacción de la escasa vernalización de los cultivares primaverales (Murphy *et al.*, 1989).

3.1.3.3.- Fotoperíodo

El fotoperíodo es el mecanismo que le permite a las plantas responder a la duración del día, de modo que el momento del año en que ocurre la floración esta determinado por la longitud del día. Las plantas que solo florecen cuando el día es más corto que un máximo crítico se denominan “plantas de día corto”. Las “plantas de día largo” florecen cuando la duración del día es más larga que un mínimo crítico, y las “plantas de día neutro” no son afectadas por la duración del día (Bidwell, 1974).

Unas pocas plantas requieren duración del día determinada solo en etapas tempranas de desarrollo y luego se vuelven neutras. Otras presentan interrelaciones con otros factores como por ejemplo la temperatura (Bidwell, 1974).

Inicialmente se pensaba que las plantas “median” la longitud del día, de ahí la denominación. Sin embargo, experimentos hechos por los fisiólogos americanos (K.C. Hammer y J. Bonner) mostraron que es la duración de noche el factor que determina la respuesta. Los sitios de percepción de la planta a la duración de la fase nocturna son sus hojas. Si todas las hojas son removidas de la planta, esta se vuelve insensible al fotoperíodo, si se deja una hoja la planta responde al tratamiento que esa hoja recibe. Además, si una sola de las hojas se expone a la duración correcta del día, la planta va a florecer independientemente de la condición en la que se encuentren las demás hojas (Bidwell, 1974).

Dado que las hojas perciben la longitud relativa del día y noche, los meristemas axilares y apical se diferencian en primordios florales, a través de un estímulo floral que es enviado de las hojas a los botones. Lo requerido por estos procesos es producido en las hojas, ubicándose los sitios de acción de esas “hormonas florales” en los botones. La traslocación de estas hormonas es enormemente dependiente de la temperatura, aunque poco se conoce sobre ellas (Zeevaart, 1963).

En experimentos llevados a cabo en Argentina, se encontró respuesta al fotoperíodo en tres materiales primaverales: Zafiro, Impulse y Mistral. En dichos experimentos se encontró que cuando se extendía la duración del día, el período vegetativo se acortaba, comenzando antes la fructificación de los tres materiales. A su vez, se determinó la existencia de sensibilidad fotoperiódica luego de la floración,

estando determinado el impacto del mismo por su relación con la temperatura (Gómez *et al.*, 2000).

En dicho trabajo, fueron evaluadas dos fechas de siembra junto a tres tratamientos fotoperiódicos. En él fue determinado que el período de siembra a inicios de fructificación es reducido cuando el fotoperíodo es extendido cuatro horas respecto al normal, durante el período emergencia a botón floral visible. Las mayores reducciones en el ciclo, se observaron en los cultivares de ciclo más largo, como Mistral e Impulse, siendo menor el impacto en Zafiro, material de menor longitud de ciclo (Gómez *et al.*, 2002).

Dentro del período siembra - fructificación, la subetapa más afectada por la extensión fotoperiódica fue la comprendida entre el momento de diferenciación del ápice de vegetativo a reproductivo y botón floral visible. Cuando la de siembra se realizó el 15/6, correspondió especialmente a la fase botón floral visible-floración, mientras que cuando la siembra se realizó el 4/8, además de las anteriores etapas, también existió una reducción en la etapa vegetativa, de emergencia a cambio del ápice (Gómez *et al.*, 2000).

Cuando la extensión fotoperiódica respecto a la normal se realizó durante el período de botón floral visible a inicios de fructificación, el ciclo del cultivo se redujo debido a un acortamiento de las etapas de botón visible a floración y floración a fructificación, estando afectada esta última en mayor magnitud en la última fecha de siembra. Dado el momento en que es aplicado este tratamiento, permite demostrar a los autores la existencia de sensibilidad fotoperiódica, no solo en el período vegetativo, sino aún luego de la aparición de flores, durante el período reproductivo (Gómez *et al.*, 2000).

A su vez, existe interacción entre fotoperíodo y temperatura, dado el impacto diferencial del fotoperíodo según la fecha de siembra. El número final de hojas y la tasa de aparición foliar, factores independientes entre sí, fueron afectados cuando se modificó tempranamente en el ciclo del cultivo la duración del día, encontrando disminuciones en los valores de filocrono al alargarse el fotoperíodo (Gómez *et al.*, 2000).

Bajo condiciones de campo, el fotoperíodo y la temperatura varían simultáneamente y continuamente afectando diferentes atributos de la planta como el número de primordios foliares y la tasa de emergencia foliar, quienes determinan el momento de floración. El número final de hojas es usado para predecir el momento en el que el cultivo alcance la antesis, asumiendo que el filocrón no cambia con el desarrollo. Sin embargo, existen evidencias de que puede cambiar con el desarrollo de la planta, determinando que la duración del período a antesis sea diferente que el predicho a partir del número de primordios foliares esperados que aparezcan. (Miralles *et al.*, 2001).

En experimentos argentinos, se observaron cambios en el número final de hojas según la fecha de siembra. Se encontró una fuerte y positiva asociación ($r^2=0.98$) entre el n° final de hojas y la longitud del período siembra – iniciación floral. Se encontraron variaciones en la duración de la etapa de siembra a floración de 55 a 160 días según fecha de siembra. Esta variación también se da al ser medida la duración en grados día, oscilando entre 1200 y 2100 °C.día, según fecha de siembra, lo que puede explicar la existencia de respuesta al fotoperíodo. Interacciones entre temperatura y fotoperíodo producen diferentes combinaciones de duración del período preantesis (Miralles *et al.*, 2001).

También se encontró una asociación positiva, entre la duración de la fase reproductiva y el número de granos por unidad de área. Una mayor duración de la etapa reproductiva tardía, se traduce en incrementos en el rendimiento, debido principalmente a aumentos en el número de granos. Contrario a esto, parte del incremento en potencial debido al número de granos, es reducido por el peso de granos, habiendo una fuerte asociación negativa entre ambos componentes del rendimiento, pudiéndose deber a la existencia de una limitación por fuente (Gómez *et al.*, 2002).

3.2- MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron evaluadas cuatro fechas de siembra, desde abril hasta julio con el fin de cubrir el posible rango óptimo para la especie. Las fechas fueron: 23/04, 12/05, 19/06, 15/07. En cada una de éstas se evaluaron diferentes cultivares de tres especies del género *Brassica*. (cuadro 10)

Cuadro 10. Especies evaluadas y sus cultivares

<i>Brassica napus</i>	<i>Brassica juncea</i>	<i>Brassica rapa</i>
Híbridos:	S-9	Hysyn 100
Hyola 43	LD2 86-09	Hysyn 110
Hyola 401	Cutlass	Chinook
Hyola 420		Goldrush
Eclipse		
Variedades:		
Defender		
Global		
Mistral		
Princeton		
Nolza 531		

En este ensayo, se incluyeron tres especies del género con el fin de cubrir el rango de materiales existentes dentro del cultivo de colza. *B. juncea* se incluyó por estar citada como una especie que presenta virtudes agronómicas tales como altos rendimientos, resistencia al desgrane, resistencia a determinadas enfermedades e insectos, rápido crecimiento inicial y resistencia a déficit hídrico.

B. napus se incluyó por ser la especie más difundida mundialmente, contando con una gran diversidad de materiales mejorados en la actualidad. En el último caso, *B. rapa* se evaluó con el fin de caracterizar a la especie y corroborar su deficitario comportamiento relativo a las anteriores especies.

El experimento fue desarrollado con un diseño experimental en bloques completos al azar, contando con tres repeticiones para las fechas de siembra de mayo, junio y julio. La fecha de abril fue sembrada sin repeticiones. Las dimensiones de las parcelas fueron de 5 m de largo por 6 surcos de 17 cm de ancho. La siembra se realizó con una sembradora experimental de siembra directa (ANEXO 8).

La semilla utilizada fue mayoritariamente obtenida del banco de germoplasma de INIA La Estanzuela, a la cual se le realizó análisis de germinación con el fin de ajustar la densidad de siembra a 110 pl/m², valor que se encuentra dentro del rango óptimo de población.

La siembra se hizo sobre rastrojo de moha cosechada a mediados de abril previa aplicación de 6 L/ha de glifosato. En las subsecuentes siembras se aplicaron 3 L/ha de glifosato y 4 L/ha de premerline previo a las mismas. El ensayo fue instalado sobre un suelo brunosol eútrico típico, de lomadas con pendientes suaves y moderadas (2 a 4 %) del campo experimental de INIA La Estanzuela (ver ANEXO 1), ubicado sobre ruta 50 km. 11.

Se realizó una fertilización basal a la siembra de 80 kg/ha de fosfato de amonio. El control de malezas se hizo en forma manual, manteniendo las parcelas siempre limpias. Como medida sanitaria, fue solo necesario el control de Lepidópteros (lagartas defoliadoras), realizando la aplicación de 2 L/ha de Lorsban a mediados de julio.

La determinación de los estados fonológicos fue realizada en base a la escala de CETIOM anteriormente descrita (Cetiom, 1978).

3.3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia será analizado el impacto de las distintas fechas de siembra sobre el ciclo y los principales estadios que marcan el comienzo y fin de grandes períodos, para los distintos materiales evaluados. Una vez caracterizadas las tres especies y los cultivares correspondientes, cabe analizar la adaptación que, dentro de cada fecha de siembra, han tenido los materiales.

3.3.1.- Clima

Uruguay esta situado entre los 30° y 35° de latitud sur, en una zona subtropical templada típica.

El clima es templado y húmedo. La temperatura media anual es de 16 °C, con variaciones desde 7 °C en julio a 31 °C en enero. Las variaciones entre años no son importantes, caracterizándose como isotérmico (www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima).

En general el régimen hídrico es uniforme a lo largo del año, con un promedio anual de precipitaciones de 1000 mm. Los registros indican que no hay una estación lluviosa típica en nuestro país, aunque otoño y primavera tienen registros algo superiores.

El año 2003, en el cual se llevó a cabo este ensayo tuvo características normales en comparación con una serie de 12 años para la localidad de La Estanzuela. En el año del ensayo las precipitaciones sumaron 1080 mm y se registraron temperaturas medias de 21.6 °C en verano y 10.6 °C en invierno, lo que concuerda con los promedios históricos para nuestro país (figura 46, cuadro 11).

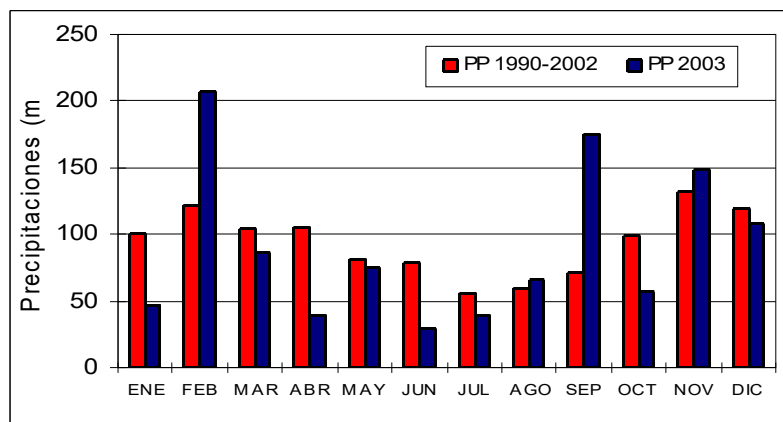


Figura 46: Régimen pluviométrico mensual para La Estanzuela

Fuente: <http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/index.html>

Cuadro 11: Régimen térmico mensual para La Estanzuela

MES	Temperatura media (°C)		
	1990-2002	2003	Diferencia
ENE	22.7	23.3	-0.6
FEB	21.6	21.7	-0.1
MAR	20.7	20.7	0.0
ABR	16.8	16.2	0.6
MAY	13.7	14.0	-0.3
JUN	10.5	11.5	-1.0
JUL	9.7	9.8	-0.1
AGO	12.0	10.3	1.7
SEP	13.1	12.6	0.5
OCT	16.1	17.0	-0.8
NOV	18.8	18.4	0.4
DIC	21.5	20.0	1.6

Fuente: <http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/index.html>

3.3.2.- Efecto de la época de siembra y cultivares

Lo primero a destacar es el período transcurrido entre la siembra y la emergencia de las plantas. El menor período a la emergencia fue de 14 días, correspondiente a la siembra de abril. Los materiales, tanto en las siembras de junio como las de julio, demoraron 15 días en emerger. La fecha de siembra en que más se demoró la emergencia de las plántulas fue la realizada en mayo, en la cual tardaron 21 días en aparecer los cotiledones (cuadro 12).

Cuadro 12. Días y °C.día a emergencia para las diferentes épocas de siembra

Fecha de siembra	Días a emergencia	°C día a emergencia
abril 23, 2004	14	223,8
mayo 12, 2004	21	303,5
junio 19, 2004	15	211,8
julio 15, 2004	15	207,3

En todas las fechas de siembra hubo parcelas con problemas de implantación, lo que llevó a la eliminación de algunas repeticiones, e incluso a materiales enteros de alguna de las fechas. En la siembra de mayo se presentó un anegamiento importante, lo cual determinó, entre otros factores, la mayor cantidad de eliminaciones.

La mala implantación fue consecuencia de diversos factores, entre los que se observó una mala cama de siembra, caracterizada por abundante presencia de rastrojo en superficie, barbecho extremadamente corto, suelo “suelto” debido al laboreo del cultivo anterior, gran nivel de compactación local por huella. Todas éstas condiciones no fueron las óptimas para la siembra, menos aún, considerando que la misma se realizó sin laboreo.

No siempre se logró establecer todas las especies deseadas, el desarrollo observado en las plantas de muchas parcelas no fue el normal, lo que indicó un aparente estado de estrés del cultivo. Consecuencia de esto es que consideramos que deben de ser interpretados con cautela los valores absolutos de la duración de cada estadio. Es conocido que el estrés, tanto hídrico, nutritivo, etc., puede acortar etapas de desarrollo del cultivo (Mendham et al., 1995).

Cuando analizamos el período de emergencia en términos térmicos, osciló entre los 160 °C.día y los 320 °C.día, sobre una base de 0 °C. La mayor suma térmica se dio en las siembras de mayo, sin embargo la emergencia más rápida en tiempo térmico fue la del mes de julio, dado que aunque demoró un día más que en las siembras de abril, las temperaturas del mes de julio fueron menores. Éstos valores son relativamente superiores a los encontrados en trabajos de Miralles *et al.*, (2001), donde el período de emergencia varió entre los 140 y 220 °C.día.

En todas las fechas la demora en germinar y emerger fue mayor a la esperada. En trabajos de Mendham *et al.*, (1995), se citan tiempos entre 4 y 10 días necesarios para emerger. Es posible que esa mayor demora se deba a una menor temperatura del suelo, principal factor promotor de la germinación (Mendham *et al.*, 1995), consecuencia del volumen de paja que lo cubría y que determinó una mayor acumulación de humedad. Esto es coincidente con lo propuesto por Daniels *et al.*, (1986) que adjudica dicha demora en la emergencia junto con la baja uniformidad en el establecimiento a las condiciones de la sementera.

3.3.2.1.- Evolución del ciclo según fecha de siembra

Si bien el objetivo fue determinar la fecha de ocurrencia de cada estadio del cultivo, resultó difícil llegar a todos en la totalidad de las variedades y fechas de siembra, dado que la duración de cada estadio no es la misma, lo que hubiera necesitado una frecuencia de evaluación diaria o prácticamente diaria. La duración promedio de cada estadio, expresada en días y en grados día, se presenta en ANEXOS 9 y 10.

Con el fin de caracterizar el desarrollo fenológico de los cultivares y el efecto que tiene la fecha de siembra, serán analizados en detalle algunos estadios clave del

cultivo que marcan períodos importantes del ciclo. Uno de ellos es el estadio C2, el cual marca la duración del estado vegetativo, abarcando el período de plántula y roseta.

Otro de los estadios de mayor importancia es F2, el cual permite comparar la duración total de los ciclos a floración. Las heladas a floración pueden producir daños importantes, empeorando cuanto más tarde en dicho período ocurren, por lo que se considera de vital importancia conocer la duración del ciclo a F2, por lo que resulta fundamental para la toma de decisión entre el material a sembrar (ciclo) y la fecha en que se hará.

Con el fin de caracterizar el ciclo a cosecha se analizó la duración a G4, dado que el corte es realizado previo a G5, consecuencia de la necesidad de realizar hilerado para evitar el desgrane. Este estadio coincidiría con la madurez fisiológica del cultivo.

Consecuencia de haberse perdido diversas repeticiones en todas las fechas de siembra, no contando con ellas en todas las fechas ni en todas las especies es que no se pudo realizar un análisis estadístico de los datos. Los valores que se observan en las figuras 47, 48, 49 y 50 son promedio de los que pudieron ser determinados, con el fin de no perder información que si bien no tiene rigurosidad estadística puede cumplir una función descriptiva de lo observado.

Como se observa en las figuras 47, 48, 49 y 50, en la mayoría de los materiales de las tres especies analizadas disminuye la duración en días de los ciclos con el atraso en la fecha de siembra. Sin embargo, cuando la duración del ciclo es medida como la suma térmica de esos días, se observa una disminución importante del ciclo (en °C.día) solo al pasar de siembras de abril a posteriores. La suma térmica del ciclo desde emergencia a G4 no sufrió cambios significativos en ninguno de los cuatro materiales al variar la fecha de siembra entre mayo y julio.

Lo anterior determina la gran importancia que presenta la temperatura, controlando el desarrollo del cultivo. Sin embargo, probablemente no sea el único factor influyente, ya que en siembras tempranas como las de abril, el cultivo requirió acumular mayor cantidad de °C.día para completar su ciclo.

Los factores que, además de la temperatura, se podrían encontrar regulando el desarrollo del cultivo son vernalización y fotoperíodo. Murphy *et al.*, 1989, afirma que en Argentina, latitudes similares a las de nuestro país, no existen dificultades para la satisfacción de los requerimientos de vernalización que puedan presentar los cultivares seleccionados. Sin embargo, dicho trabajo considera siembras de mayo, por lo que es posible que en fechas de siembra más tempranas como las de abril (T° media abril/03=16.2 °C), la ausencia de bajas temperaturas necesarias como para cubrir los

posibles requerimientos de frío se encuentren determinando, junto con la suma térmica, la mayor longitud de ciclo observada. En tanto no se logren ambos, no se alcanzarán determinados estadios.

Otro factor que puede afectar el desarrollo de las plantas es el fotoperíodo. Es posible que frente a un alargamiento de las horas del día (acortamiento de las noches), consecuencia de siembras más tardías, las plantas hayan respondido acortando su ciclo, al aproximarse a un fotoperíodo crítico u óptimo. La existencia de requerimientos fotoperiódicos y de suma térmica podrían estar determinando las fases de desarrollo, factores más comúnmente encontradas en cultivares primaverales, no solo de canola sino también en cultivos cerealeros.

Dada la importancia que presenta cada una de las etapas del ciclo del cultivo, y la incidencia que cada una de ellas tiene sobre distintos patrones de crecimiento y desarrollo del cultivo es importante conocer a que período del ciclo se atribuye la variación del mismo.

En los cuatro cultivares de *B. rapa* evaluados, Chinook, Goldrush, Hysyn 100 y Hysyn 110, la disminución del tiempo térmico necesario para completar el ciclo se vio al pasar de siembras de abril a mayo, como ocurrió en todos los materiales. Ese incremento en la duración del ciclo a G4 debido a un adelanto en la fecha de siembra es consecuencia de incrementos proporcionales, tanto del período previo a la floración como del posterior (ver figura 47).

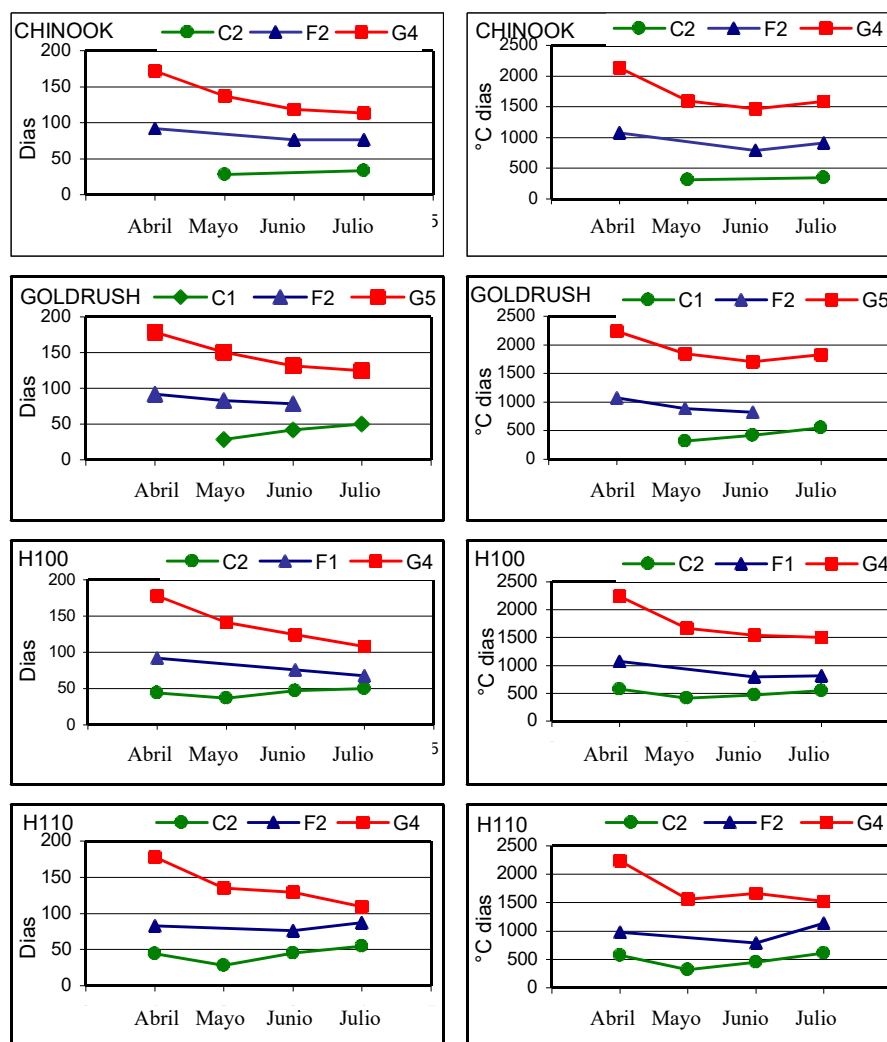


Figura 47 . Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en *B. rapa*

Nota: Fecha de siembra: 1=23/4/03; 2=12/5/03; 3=19/6/03; 4=15/7/03

En los materiales que no se determino alguno de los estadios, se graficó el ciclo al más próximo.

Ver datos en ANEXOS 9 y 10

Resulta lógico que frente a postergaciones en la fecha de siembra se acorte el período correspondiente al desarrollo y llenado de granos, dado que la duración de este se encuentra inversamente correlacionado con la temperatura (Mendham *et al.*, 1981), las cuales serán mayores frente a siembras más tardías. A esto se le suma que elevadas temperaturas podrían presentarse cortando el llenado. A su vez, *B. rapa* es más afectada por las altas temperaturas que las otras especies, siendo menos tolerante a las altas temperaturas en el período de formación de silicuas (Canola Council, 2003).

En los materiales de *B. juncea* la mayor disminución de la totalidad del ciclo frente al atraso de la fecha de siembra fue debida al período a floración. Dentro del período comprendido entre la emergencia y la floración, la fase reproductiva (elongación-inicios de floración) fue la que mayor variación presentó (figura 48). Esto es de vital importancia desde el punto de vista productivo por dos factores principales. Primero, porque la duración del período de elongación está más correlacionado con el rendimiento del cultivo que periodos anteriores (Mendham *et al.*, 1995), por lo que siembras tempranas sería necesario para lograr un buen potencial. Segundo, que un incremento de la duración del período a floración en siembras tempranas podría evitar la ocurrencia de ésta dentro del período de riesgo de heladas, las cuales pueden afectar el rendimiento negativamente, principalmente si ocurren cerca del fin de la floración (Robertson *et al.*, 2001).

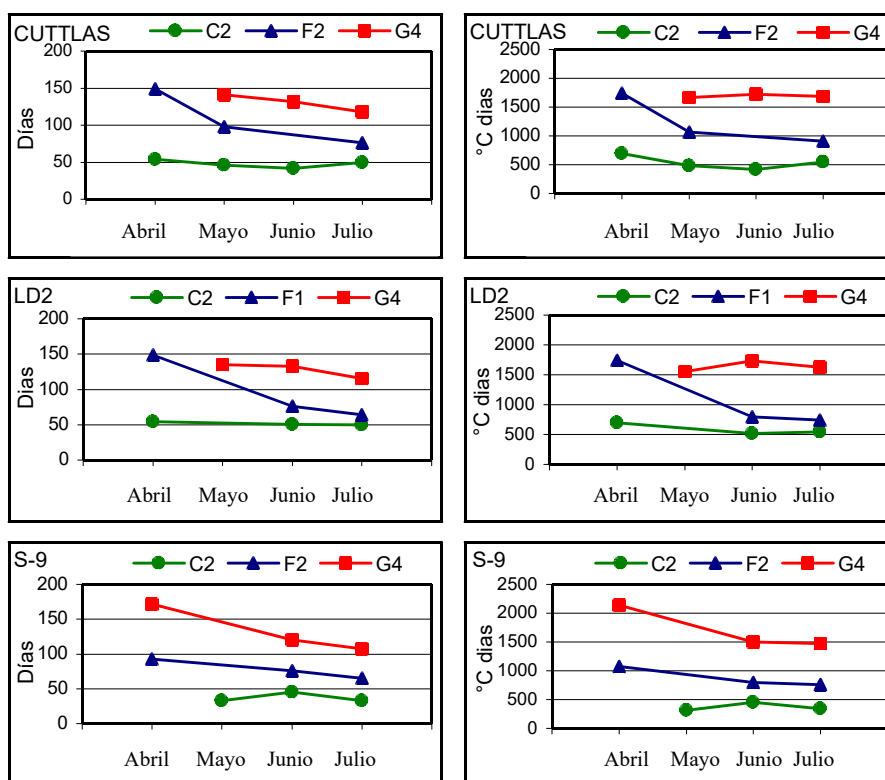


Figura 48 . Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en *B. juncea*

Nota: Fecha de siembra: 1=23/4/03; 2=12/5/03; 3=19/6/03; 4=15/7/03

En los materiales que no se determino alguno de los estadios, se graficó el ciclo al más próximo
Ver datos en ANEXOS 9 y 10

Por último, en *B. napus*, al igual que en las anteriores especies, el ciclo a madurez de los materiales evaluados disminuyó frente al atraso en la fecha de siembra. Todos los períodos del ciclo evaluados en todos los materiales de dicha especie sufrieron

disminuciones en la cantidad de tiempo térmico ($^{\circ}\text{C}.\text{día}$) requerido para completarse al atrasar la siembra, principalmente al pasar de la siembra de abril a mayo (figuras 49 y 50), aunque en distinta magnitud dependiendo del material evaluado.

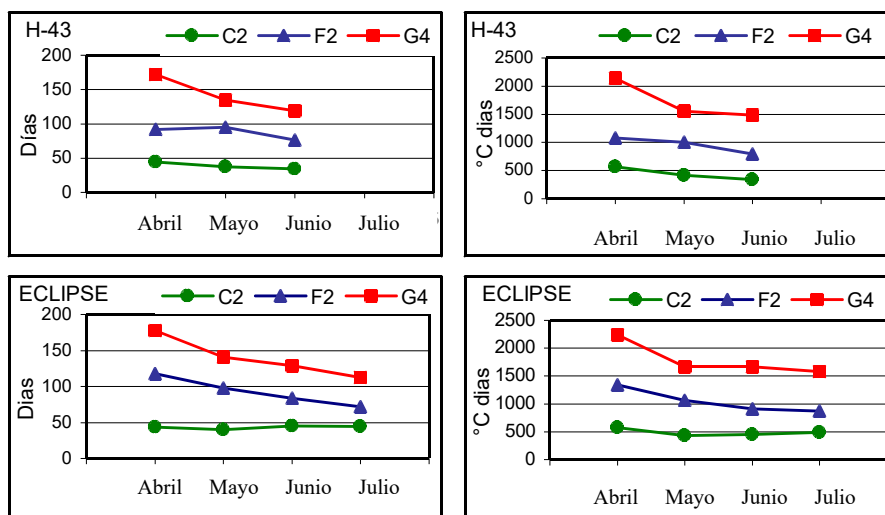


Figura 49. Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en híbridos de *B. napus*

Nota: Fecha de siembra: 1=23/4/03; 2=12/5/03; 3=19/6/03; 4=15/7/03

En los materiales que no se determino alguno de los estadios, se graficó el ciclo al más próximo.

Ver datos en ANEXOS 9 y 10

En materiales como Hyola 43, la mayor duración del ciclo encontrada en la siembra temprana se debió casi exclusivamente a un mayor período pos floración, no detectándose cambios en la duración de los períodos vegetativos ni reproductivos, previos a la floración, lo que lo hace un material poco adaptable a siembras tempranas.

Una situación distinta es la de los restantes materiales de la especie, donde el cambio en la duración de la totalidad del ciclo responde fundamentalmente a un cambio del período desde emergencia a floración, la cual ocurre más tardíamente frente a adelantos en la siembra. En éstos materiales, si bien con el atraso de la siembra ocurre una leve caída en la suma térmica en la que el cultivo pasa en estado vegetativo (plántula y roseta), la mayor disminución se da en la duración del período de elongación.

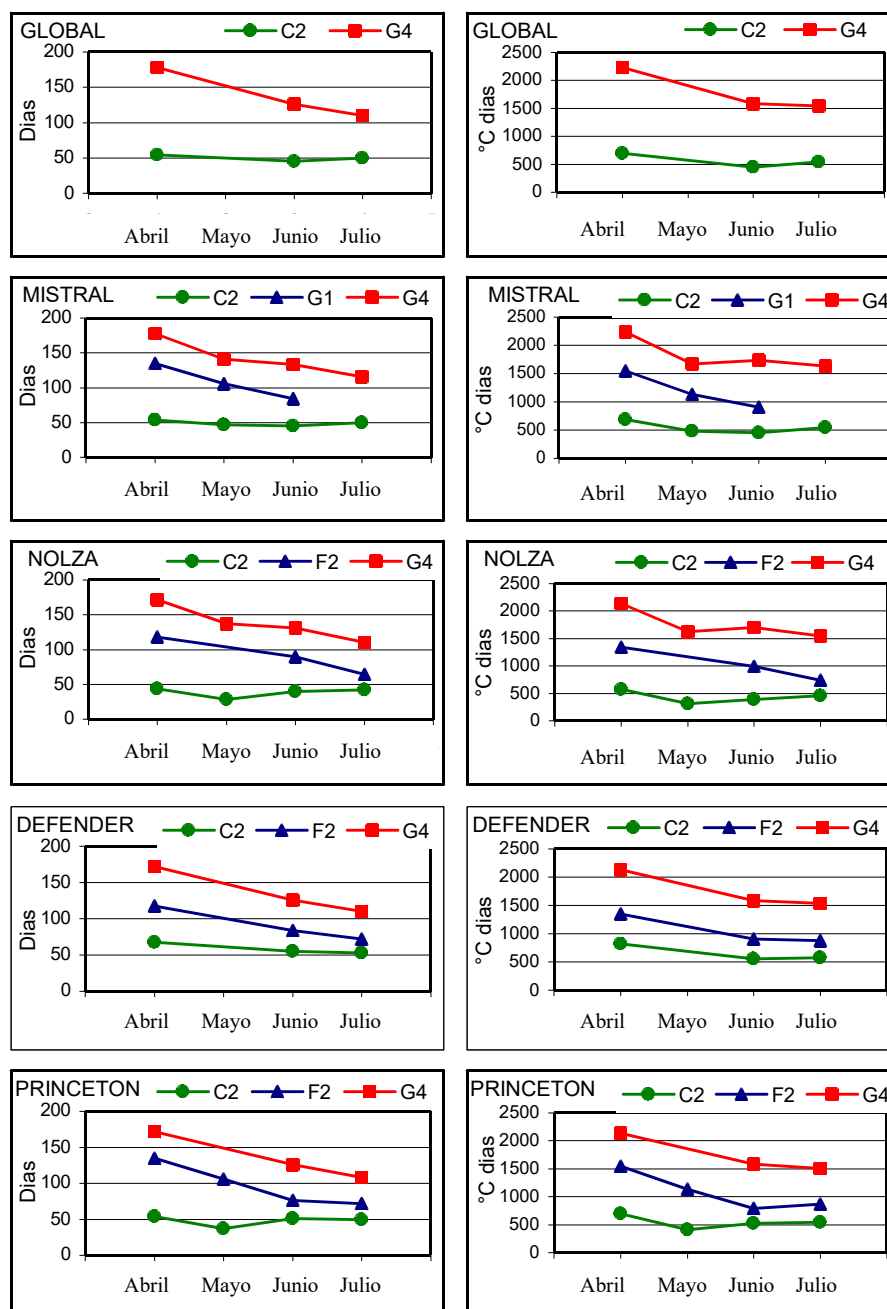


Figura 50. Efecto de la fecha de siembra en la duración del ciclo desde emergencia a C2, F2 y G4 en variedades de *B. napus*

Nota: Fecha de siembra: 1=23/4/03; 2=12/5/03; 3=19/6/03; 4=15/7/03

En los materiales que no se determino alguno de los estadios, se graficó el ciclo al más próximo

Ver datos en ANEXOS 9 y 10

3.3.2.2.- Comportamiento de los cultivares

Dado que la época de siembra afecta la duración de cada estadio fenológico de manera distinta según el cultivar utilizado, es necesario conocer el comportamiento de cada material en cada fecha de siembra. La duración y momento en que ocurren cada uno de ellos es fundamental en la determinación de distintos patrones de crecimiento, y en como afectan los factores ambientales en ellos.

Debido a la sensibilidad que presenta el cultivo a las bajas temperaturas, principalmente a las heladas, si éstas ocurren cerca del período de floración o temprano en el llenado de granos (Robertson *et al.*, 2001), es necesario conocer el comportamiento de los materiales en cada fecha de siembra respecto al período de riesgo de heladas (figura 51).

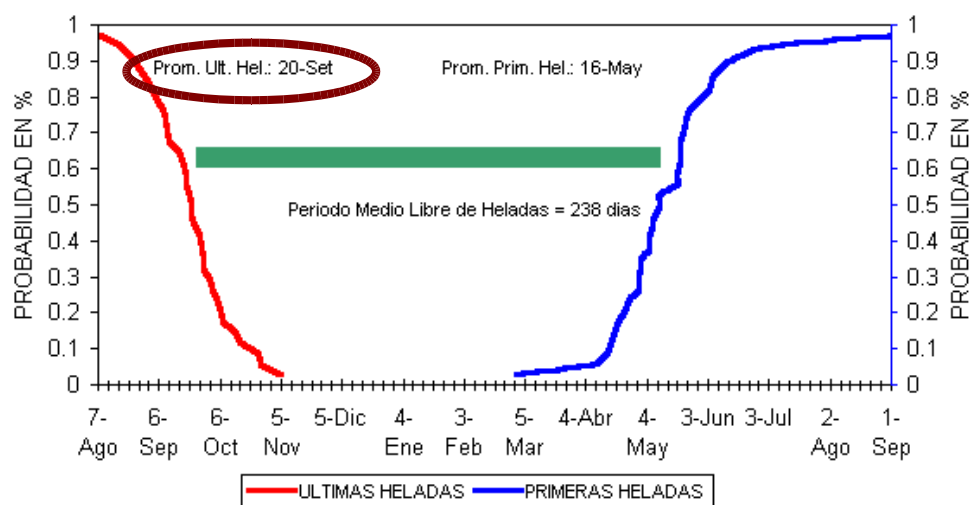


Figura 51 . Probabilidad de momento de ocurrencia de primer y última helada en césped

Fuente: <http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/index.html>

En las figuras 52, 53, 54 y 55 se observan los períodos ontológicos de los cultivares evaluados, siendo determinados el fin de cada uno por el comienzo del primer estadio del siguiente período. Los estadios incluidos dentro de cada período son los correspondientes a la escala de CETIOM (Cetiom, 1978). El inicio de la madurez fisiológica fue determinada cuando el cultivo se encontraba en el estadio G4, culminando cuando este llegó a G5. Este último puede ser considerado como el período dentro del cual hubiera correspondido la realización de hilerado para posterior cosecha del cultivo. Las graficas correlativas en grados día pueden observarse en el anexo 11. En general los materiales no mantuvieron constante la suma térmica al cambiar la fecha de

siembra, aunque si se mantienen las tendencias y diferencias entre ellos. En este caso analizaremos las gráficas en días, ya que el fin es ajustar una fecha de siembra para los materiales en evaluación teniendo en cuenta que la floración en esta especie es muy sensible a las bajas temperaturas, mas concretamente a las heladas.

En la siembra de abril (figura 52) se observa una temprana floración de los materiales evaluados de *B. rapa* respecto a las restantes especies. Esto era esperable dado que en ésta especie la antesis ocurre tempranamente, antes de la fase de rápido incremento de materia seca (Thurling, 1974a). Esta especie no presenta una buena adaptación a estas siembras, la temprana ocurrencia de la floración determina que esta suceda dentro del período probable de heladas, lo cual traería aparejado grandes pérdidas en rendimiento. Sin embargo, generalmente los cultivares de *B. rapa* tienen el punto de crecimiento más protegido que los de *B. napus*, pudiendo soportar temperaturas más bajas (Downey *et al.*, 1989 citado por (Mendham *et al.*, 1995)). Si bien esta especie presenta un período de formación de silicuas muy largo, el riesgo de ocurrencia de abortos frente a siembras tempranas es muy elevado.

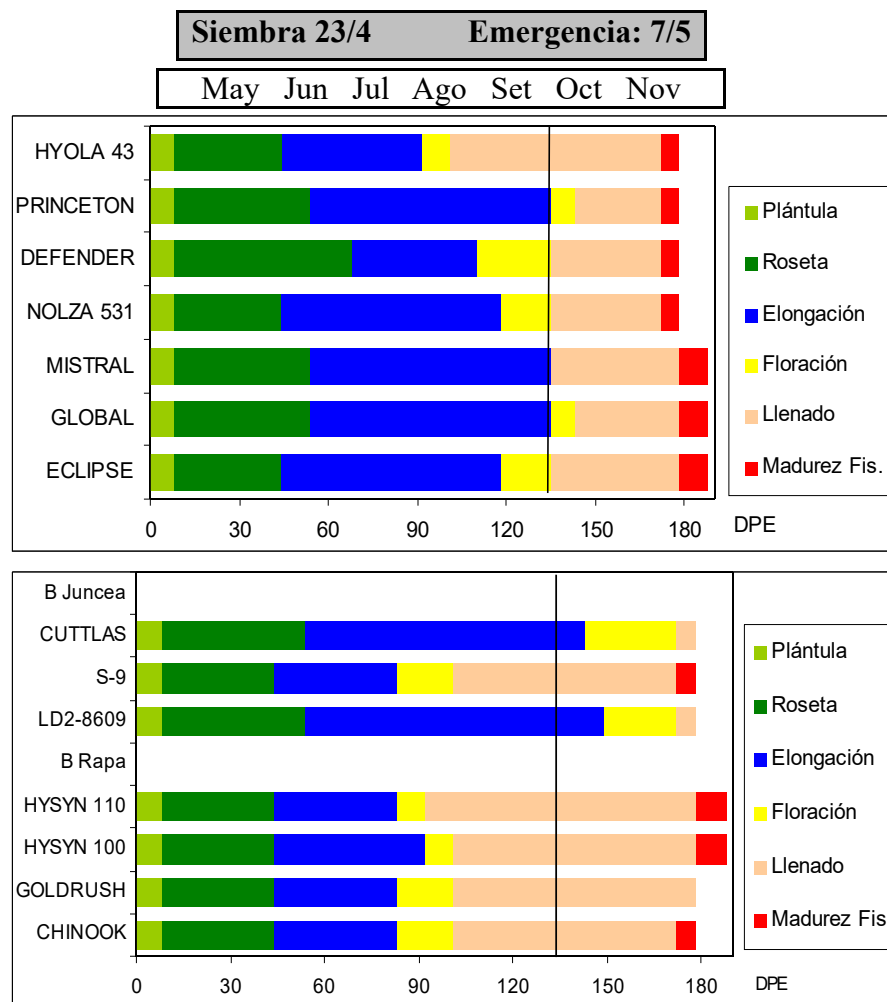


Figura 52. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de abril
 Nota: línea transversal a las barras indica fecha probable de última helada.
 Ver datos en ANEXOS 9 y 10.

El cv. S9 de *B. juncea* se comporta de manera similar a los cultivares de *B. rapa*, sin embargo los materiales Cuttlas y LD2-8609 presentan un período de elongación de la vara floral suficientemente largo como para que la floración ocurra después del 20 de setiembre, fecha promedio de ocurrencia de última helada. Si bien existe un mayor período vegetativo y posterior período de elongación, esto tiene como contrapartida un período de llenado de granos de menor duración.

La adaptación de *B. napus* a la primer siembra fue diferencial según el cultivar. En general se determinaron dos grupos, uno de menor ciclo a madurez, compuesto por

Hyola 43, Princeton, Defender y Nolza 531; y otro compuesto por Mistral, Global y Eclipse con un ciclo levemente mayor.

En el caso particular del híbrido Hyola 43 se observó un ciclo muy corto a floración, ubicándose en la primera semana de agosto. Esto podría estar excluyendo a ésta variedad como una opción a ser sembrada en fechas tempranas de fines de abril mayo, si consideramos lo propuesto por Robertson *et al.* (2001), quienes afirman que la estrategia recomendada para minimizar el riesgo por heladas es ajustar el cultivar con la fecha de siembra, de manera tal que la floración ocurra luego del período promedio de riesgo de heladas (Robertson *et al.*, 2001).

En general podría caracterizarse a la siembra de abril como una fecha límite, donde el ajuste de un cultivar de mayor ciclo se hace necesario para evitar el riesgo de heladas temprano en la floración. Materiales como Princeton, Mistral y Global son los que presentaron una mejor adaptación del ciclo a este momento de siembra, con una buena longitud del período vegetativo y de elongación, vitales en la definición del rendimiento. A su vez presentan un período de llenado de granos en un momento del año en que es menos probable la ocurrencia de altas temperaturas que interrumpen el mismo, al igual que pueden terminar disminuyendo las concentraciones de aceite. Esto permitiría estar liberando la chacra a fines del mes de octubre o primeros días de noviembre.

Frente a la siembras de mayo (figura 53), los materiales emergieron el 2 de junio. Es importante volver a destacar que las plantas sembradas en esta fecha estuvieron sometidas desde un inicio a estrés de tipo hídrico, con grandes lluvias que causaron encharcamiento, sumado a diversos defectos de chacra que determinaron una mala implantación y peor desarrollo de las plantas. Es posible que éstos factores hayan causado un acortamiento de las etapas del ciclo de los mismos, principalmente si observamos que el acortamiento en los estadios respecto a la anterior siembra fue mayor que el atraso en la fecha de siembra.

Los cultivares de *B. rapa* permanecieron floreciendo más temprano en términos comparativos a las demás especies, pero presentando un menor período de desarrollo de silicuas que en las siembras anteriores.

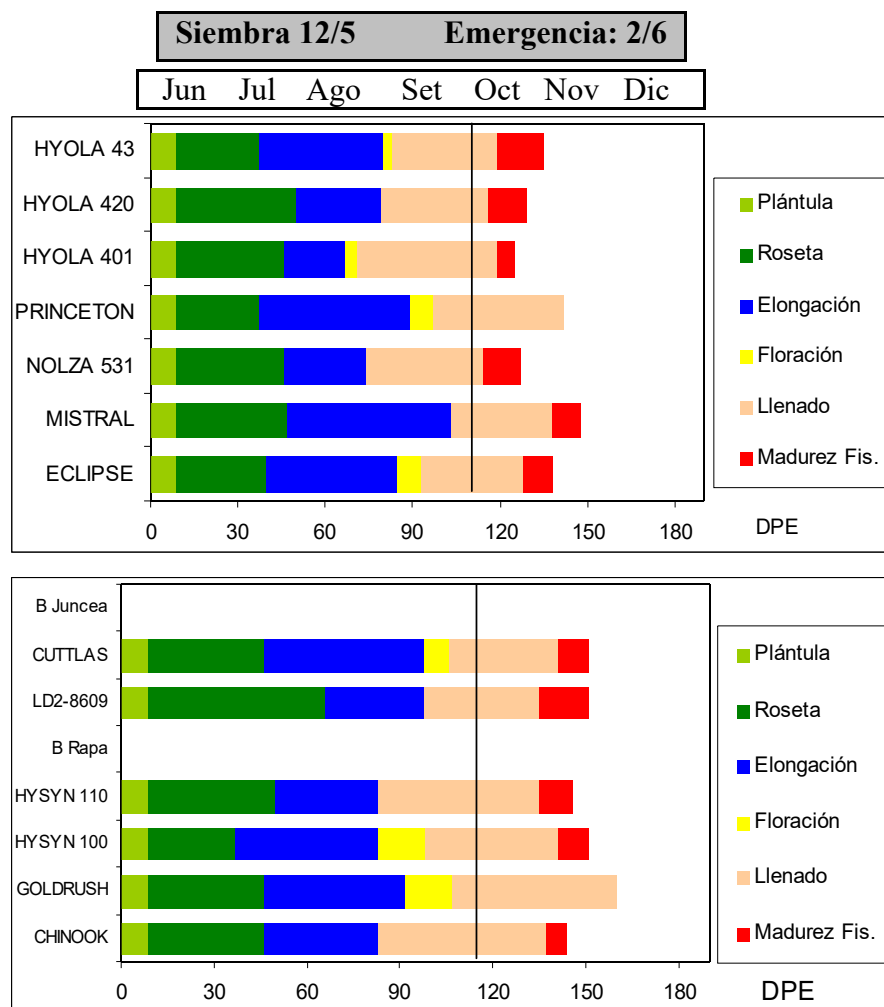


Figura 53. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de mayo

Nota: línea transversal a las barras indica fecha probable de última helada.

Ver datos en ANEXOS 9 y 10.

El cv. S9 de *B. juncea* no fue evaluado en esta siembra de mayo, debido a la pérdida de las parcelas respectivas por motivos anteriormente descritos. Los restantes materiales evaluados presentaron un período de elongación relativamente corto, principalmente en el material LD2-8609, lo que podría afectar negativamente el rendimiento (Thurling *et al.*, 1979, citado por (Mendham *et al.*, 1995)). Sin embargo el cv Cuttlas presentó una composición del ciclo más balanceada en todos los períodos (ver figura 54).

Si bien fueron incluidos dos híbridos más (Defender y Global), éstos no pudieron ser implantados en el mes de mayo. Como se observa, ninguno de los materiales de *B.*

napus floreció después del fin del período de heladas, a diferencia de lo determinado en abril, donde a campo se observaban parcelas correspondiente al mes de mayo florecidas antes que lo hicieran las correspondientes al mes de abril. Esto hace pensar en la presencia de algún otro factor jugando sobre la fenología de la canola, el cual probablemente no se encontró en la anterior siembra.

La siguiente siembra correspondiente al mes de junio (figura 54), causó que los materiales de *B. rapa* acortaran su ciclo a cosecha. Como es normal en esta especie, la floración ocurre temprano, pero escapa a las heladas al ser sembradas en la segunda quincena de junio. No existe una gran diferencia fenológica entre los materiales, habiendo acortado su ciclo principalmente por disminuciones en el período de formación de silicuas. Las leves diferencias radican en una mayor duración tanto del período de elongación como del ciclo total en el caso de las variedades sintéticas Hysyn.

El cv S-9 de la especie *B. juncea* si bien mantiene su menor longitud de ciclo relativa a los restantes cultivares, se adaptó de mejor manera a ésta fecha de siembra, floreciendo después del 20 de setiembre. El material LD2-8609 floreció fuera del período de riesgos de heladas, a la vez que escapó a temperaturas elevadas durante la misma y posterior llenado de granos.

Esto no sucede con el material Cuttlas, el cual, como se observa en la figura 54 comienza la formación de silicuas recién el 25 de octubre, lo que determina que tanto la floración como el posterior llenado de granos ocurran bajo elevadas temperaturas. Las elevadas temperaturas afectan la floración, aceleran el desarrollo, disminuyen el período de floración a madurez, acorta el período receptivo al polen de las flores, la duración del período de liberación del polen y su viabilidad; ocasionando pérdidas de rendimiento (Robertson *et al.*, 2001). A su vez, las altas temperaturas durante el llenado de grano disminuyen la concentración de aceite de los mismos.

Los cultivares de *B. napus* tuvieron un buen comportamiento respecto a esta fecha de siembra. Como se observa en la figura 54 los materiales florecieron lo suficientemente tarde como para escapar a las heladas, pero lo necesariamente temprano para evitar elevadas temperaturas. Los materiales Hyola 43 e Hyola 420 demostraron presentar un ciclo muy corto a floración, presentando mucho riesgo frente a siembras tempranas, por lo que deberían ser considerados para siembras tardías. Por el contrario, materiales como Princeton y Mistral, entre otros, fueron los que tuvieron un desarrollo más tardío, llegando a la madurez a mediados de noviembre.

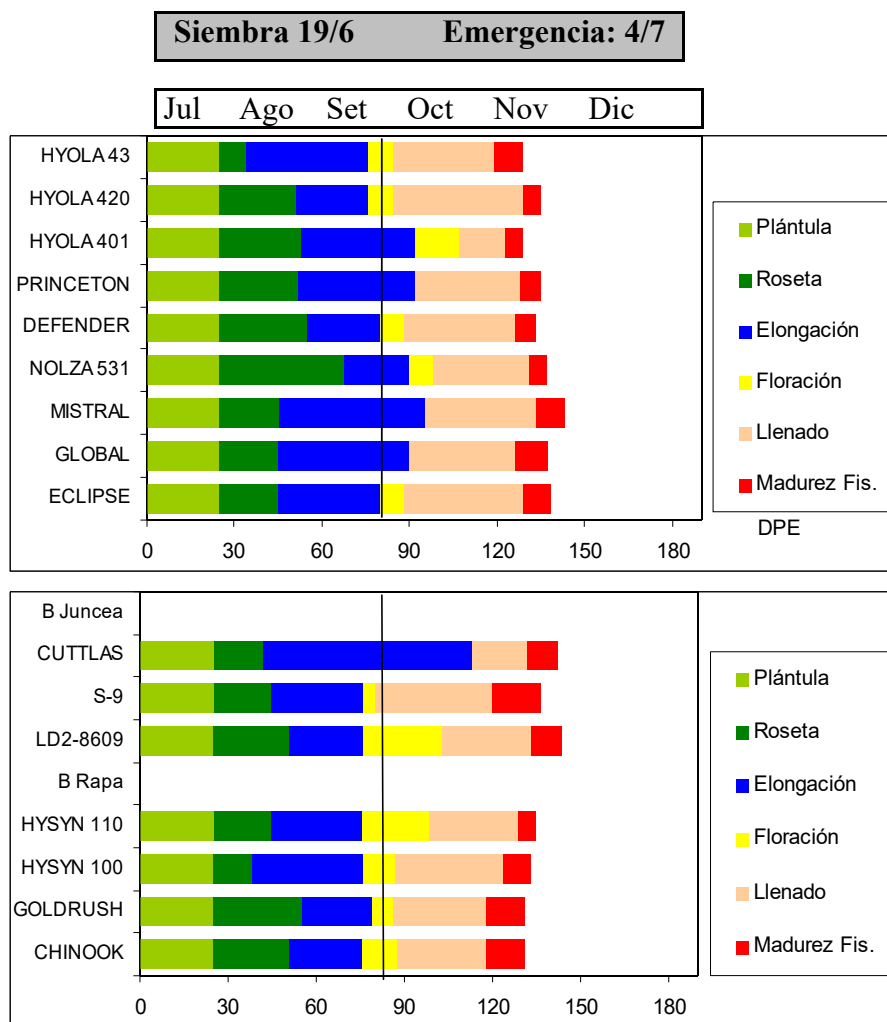


Figura 54. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de junio

Nota: línea transversal a las barras indica fecha probable de última helada.

Ver datos en ANEXOS 9 y 10.

Cuando las siembras se realizaron en julio las tres especies acortaron sus ciclos importantemente (figura 55). Esto determina que en general, a pesar de lo tardío de la siembra, se llegue a la madurez antes de finalizar el mes de noviembre.

La utilización de materiales como Hysyn 110, si bien no presentan un ciclo relativamente tan corto como los otros materiales, llega a la floración próximo al mes de noviembre, en períodos de elevadas temperaturas con los consiguientes problemas que esto trae. Situaciones similares fueron observadas en el material Cuttlas de *B. juncea*.

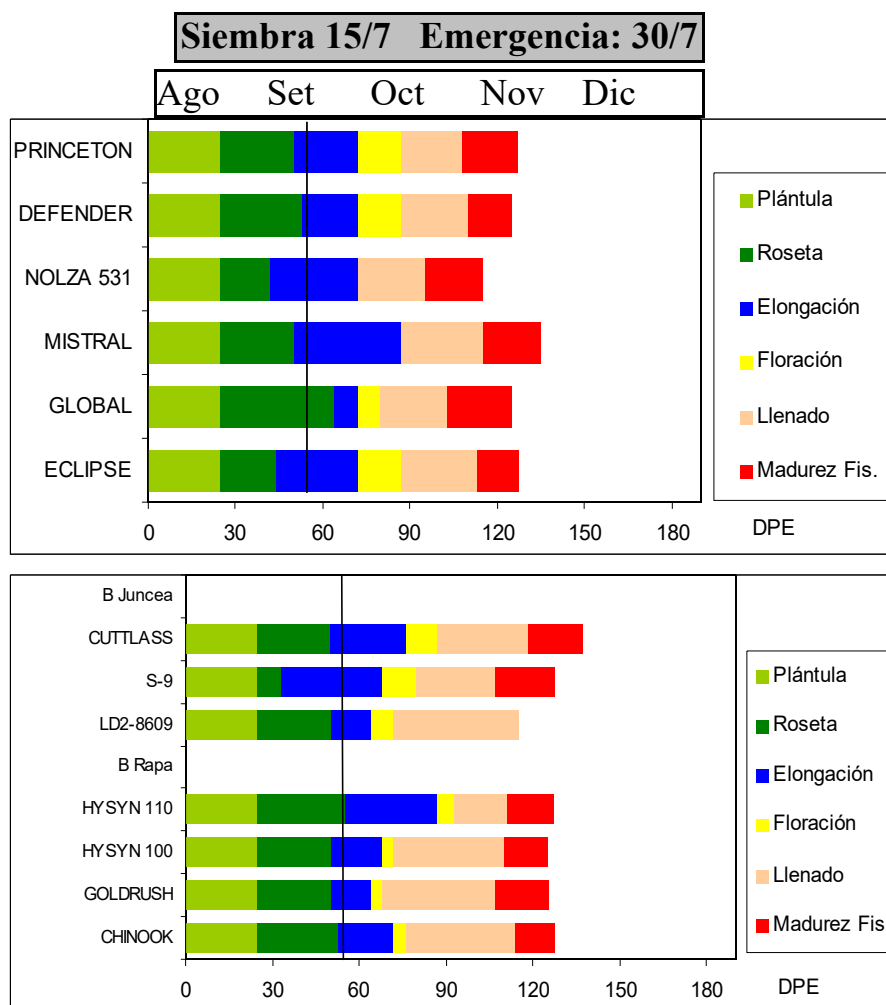


Figura 55. Días pos emergencia de las etapas de desarrollo en las siembras de julio

Nota: línea transversal a las barras indica fecha probable de última helada.

Ver datos en ANEXOS 9 y 10.

En *B. napus*, si bien Mistral permanece aún en siembras tardías mostrando su mayor longitud de ciclo, todos los materiales mostraron una gran elasticidad frente a las distintas fechas de siembra. Frente a una emergencia determinada el 30 de julio, casi todos los materiales llegaron en el mismo momento a floración.

3.4.- CONCLUSIONES

El atraso en la siembra determina un acortamiento en el ciclo de todos los materiales evaluados, tanto en días como en °C.día. Esta disminución es de mayor magnitud cuando es medida en días, lo que permite concluir que en primera instancia el ciclo de los cultivares de colza se encuentran gobernados por la temperatura a través de la suma térmica.

La existencia de un acortamiento de los ciclos en °C.día permite inferir la existencia de otro/s factor/es que también se encuentran determinando la duración de los estadios fenológicos del cultivo. La presencia de requerimientos de vernalización y/o de respuesta al fotoperíodo citada en otros trabajos podría estar explicando dichos cambios.

La siembra de abril resulta muy temprana para materiales de *B.rapa*, dado que los cultivares de ésta especie florecen tempranamente, lo que podría coincidir con un efecto negativo de las heladas. En ésta especie resulta necesario la consideración de una fecha de siembra más tardía.

B.juncea demostró presentar una buena adaptación a todas las fechas de siembra, exceptuando el cultivar S-9, el cual se adapta mejor a siembras más tardías por su temprana floración. Esta especie se destaca por un largo período de elongación, principalmente en la siembra más temprana, dado que dicho período es el que mayor responde acortándose al atrasar la fecha de siembra.

Los cultivares de *B.napus* presentan en general gran elasticidad en sus ciclos, adaptándose a siembras tan tempranas como fines de abril hasta mediados de julio. La siembra de fines de abril y comienzos de mayo resultaron, para la mayoría de las especies, el límite más temprano del rango óptimo de siembra. Igualmente deben considerarse los materiales a sembrar y que existen cultivares que se apartan del comportamiento general de la especie.

3.5.- RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento fenológico del cultivo de colza en diferentes fechas de siembra en nuestro país. Para ello se planteó un ensayo en la Estación Experimental INIA La Estanzuela con distintas variedades de tres especies de *Brassica*.

Las fechas de siembra evaluadas fueron desde abril a julio del año 2003. En base a la escala de CETIOM, 1978, se realizó un seguimiento fenológico de las variedades para determinar como influye el momento de siembra sobre esas características de cada material.

En términos generales, los resultados fueron coincidentes para las tres variedades. Se observó una disminución de la duración del ciclo en días con el retraso en la fecha de siembra, sin embargo al analizar la suma térmica de los materiales, se verificó una disminución importante solo al pasar de la siembra de abril a posteriores, no encontrándose diferencias relevantes entre las tres últimas fechas de siembra.

Este comportamiento pone de manifiesto el efecto que tiene la temperatura sobre el desarrollo de este cultivo, así como también la posible influencia de otros factores ambientales como vernalización y fotoperíodo.

En los cultivares de *B. rapa* el cambio en la duración del ciclo a G4 fue debido a un cambio proporcional en las etapas tanto previas como posteriores a floración. En cambio para los materiales de *B. juncea*, al atrasar la fecha de siembra la mayor disminución se observa en el período a floración y dentro de ésta, el cambio más relevante se determinó en la fase elongación-floración. Por último, el caso de *B. napus*, donde todos los períodos del ciclo presentaron cambios en la cantidad de tiempo térmico requerido para finalizar, en diferente magnitud según la variedad analizada.

La floración ocurrió más temprano en *B. rapa* que en las restantes especies. Esto determinó que para las siembras de abril la misma ocurriera en pleno período de heladas en todos sus materiales, mientras que la floración de algunos cultivares de las otras dos especies sucedió próximo al comienzo del período libre de heladas. Dado el estrés sufrido por las plantas en la siembra del mes de mayo, se produjo un acortamiento del ciclo que dificulta la comparación con las demás siembras. En las dos siembras posteriores el período de floración ocurrió luego del período de heladas.

3.6.- SUMMARY

The target of this research was to evaluate the phenology of rape in different sowing dates. This experiment was done in the Research Institute INIA La Estanzuela, with different varieties of tree spices of *Brassica*.

The sowing dates were situated between april to july of 2003. The phenology was determinated upon a base of CETIOM scale (1978) to evaluate the influence of the sowing dates on the characteristics of each material.

In general, the results were consistent for all the varieties. There was a decline in time from sowing to maturity with successive delays in sowing, whereas the degree-days declined only from april to the followings, without difference between the other sowing dates.

These patterns expose the effects of temperature on phenology of this crop, and the influence of other environmental factors such as day length and vernalization.

The change in period from sowing to G4 in *B. rapa* was caused by a proportional variation in all growth phases. *B. juncea* have the greatest decline in time from sowing to flowering, was most important in time form elongation to flowering, whit successive delays in sowing. In *B. napus* all phases had changes in requirements of degree-days in different magnitude for each cultivars.

Flowering in *B. rapa* occurred earlier than in the other species. It made that in april sowing, cultivars of *B. rapa* flowered during the frost period. Because of the stress in seeding of may, it is difficult to compare it with the other sowing dates. In sowing of june and july, the flowering occurred after the period of frost.

4.- BIBLIOGRAFÍA

1. AGRICULTURE, FOOD AND RURAL REVITALIZATION. 2003. Sulphur fertilization in crop production.
http://www.agr.gov.sk.ca/docs/crops/integrated_pest_management/soil_fertility_fertilizers
2. AGROPECSTAR. 1999. Capítulo 6: Azufre.
<http://agropecstar.com/portal/doctos/agronomia6.htm>
3. ALMOND, J. A.; DAWKINS, T. C. K.; ASKEW, M. F. 1986. Aspects of crop husbandry. IN: Oilseed rape. DANIELS, R. W.; SCARISBRICK, D. H.; SMITH, L. J. ed. pp127-165.
4. ALLEN, E. J.; MORGAN, D. G. 1972. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. J. Agric. Sci., Cambridge 78: 315-324.
5. (_____.); MORGAN, D. G. 1974. A quantitative comparison of the growth, development and yield of different varieties of oilseed rape. J. Agric. Sci. Camb., 78: 315-324.
6. ALVES, D. 2000. Colza-Canola: una nueva alternativa de invierno.
<http://www.planagro.com.uy/publicaciones/revista/R90/colza.htm>
7. BRENNAN, R. F.; MASON, M. G.; WALTON, G. H. 2000. Effect of nitrogen fertilizer on the concentration of oil and protein in canola (*Brassica napus*) seed. Journal of Plant Nutrition, 23 (3): 339-348.
8. BUSCH, L.; GUNTER, V.; MENTELE, T.; TACHIKAWA, M.; TANAKA, K. 1994. Socializing nature: technoscience and the transformation of rapeseed into canola. Crop Sci., 34: 607-614.
9. CANOLA COUNCIL. 2003. The Growers Manual.
<http://www.canola-council.org/production/manual.html>
10. CASTIGLIONI, E. 1987. Adaptación del cultivo de colza en el Uruguay. Tesis Ing. Agr. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Uruguay. 147p.

11. CSIRO. 2002. Mustard-Healthy oil.
<http://www.pi.csiro.au/Brochures/FactSheets/Brassicas/mustard.htm>
12. CETIOM. 1978. Colza d'hiver. Cahier Technique, 1: 30pp.
13. CHAMORRO, A. M.; TAMANGO, L. N.; BEZUS, R.; SARANDÓN, S. 2002. Nitrogen accumulation, partition and nitrogen-use efficiency in canola under different nitrogen availabilities. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 33 (3&4): 493-504.
14. DANIELS, R. W.; SCARISBRICK, D. H.; SMITH, L. J. 1986. Oilseed rape physiology. IN: Oilseed rape. DANIELS, R. W.; SCARISBRICK, D. H.; SMITH, L. J. ed. pp 83-126.
15. DIAZ LAGO, J. E.; MARTINO, D. L. 1995. Canola en siembra directa; resultados preliminares sobre fertilización nitrogenada y métodos de cosecha. INIA La Estanzuela. Serie de actividades de difusión N° 50. pp 63-71.
16. DIEPENBROCK, W.; GEISLER, G. 1979. Compositional changes in developing pods and seeds of oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by pod position on the plant. Can. J. Plant Sci. 58: 819-830.
17. DOWNEY, R. K.; RAKOW, G. F. W. 1987. Rapeseed and mustard. IN FEHR, W. (ed) Principles of cultivars development. McMillan Publishing, Co., New York. pp. 437-486.
18. FALK, K. C.; STOENESCU, F. M. 1996. Hysyn 100 summer turnip rape. Can. J. Plant Sci. 76: 127-128.
19. (_____.); STOENESCU, F. M. 1996b. Hysyn 110 summer turnip rape. Can. J. Plant Sci. 76: 129-130.
20. FLORIDATA. 2002. *Brassica juncea*. http://www.floridata.com/ref/b/bras_jun.cfm
21. GOMEZ, C.; PIAGGIO, L. 1983. Estudio preliminar del cultivo de colza en el Uruguay-épocas por cultivares. Año 1980. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 188p.

22. GOMEZ, N. V.; MIRALLES D. J. 2000. Cambios en la duración de las etapas vegetativa y reproductiva en respuesta al fotoperíodo en colza-canola. In Reunión Argentina de Fisiología Vegetal (XXIII, 2000, Río Cuarto). Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de Río Cuarto. pp 272-273.
23. (_____.); MIRALLES D. J. 2001. Variabilidad genotípica en respuesta a los factores del ambiente que regulan el desarrollo de colza canola. BAG, Revista de la Sociedad Argentina de Genética, XIV(2): pp 97.
24. (_____.); MIRALLES D. J.; SLAFER, G. A. 2002. Cambios en el número de granos en colza-canola relacionados con el fotoperíodo en etapas reproductivas. In Congreso Uruguayo de Fisiología Vegetal, República Oriental del Uruguay, 20: 116-119.
25. (_____.). 2002. Cambios en las etapas vegetativa y reproductiva en respuesta al fotoperíodo en colza-canola. <http://www.agro.uba.ar/siav/archivo/colza.htm>
26. GRANT, C. 1990. Can do canola. Solutions November/December 1990. pp 74 -75.
27. (_____.). 1991. Sulphur requirements of canola. IN: Tabatabai, M. A. Sulphur in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A. pp 3-6.
28. (_____.); BAILEY, L. D. 1993. Fertility management in canola production. Can. J. Plant Sci. 73: 651-670.
29. HOCKING, P.; NORTON, R.; GOOD, A. 1999. Canola nutrition. <http://www.regional.org.au/au/gcisc/canola/p-05.htm>
30. HOLMES, M. R. J.; AINSLEY, A. M. 1977. Fertiliser requirements of spring oil seed rape. J. Sci. Fd. Agric., 28: 301-311.
31. JACKSON, G. D. 2000. Effect of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. Agron. J., 92: 644-649.
32. JANZEN, H. H., BETTANY, J. R. 1984a. Sulfur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.48: 100 –107.

33. (_____.); BETTANY, J. R. 1984b. Sulfur nutrition of rapeseed: II. Effect of time of sulfur application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 107-112.
34. JOHNSTON, A.; LAFOND, G. 1998. Uptake patterns of nutrients on canola and wheat and potential for post-emergent applications. www.umanitoba.ca/afs/agronomist_conf/pdf/johnston_uptake_patterns.pdf
35. KIMBER, D. S.; MCGREGOR, D. I. 1995. The species and their origin, cultivation and world production. IN: Brassica oilseeds, production and utilization. CAB International, Wallingford, UK. pp 1-7.
36. LIBRED. 2000. Libred Roundup Ready Canola. <http://www.libred.com/canola/index.htm>
37. MALHI, S. 1999. Correcting sulphur deficiency in canola – During the growing season. Saskatoon Research Centre. Research letter #99-02. 3p.
38. MARTINO, D.; PONCE DE LEON; F. 1999. Canola: una alternativa promisorio. INIA La Estanzuela. Serie técnica N° 105. 98p.
39. MASON, M. G.; BRENNAN, R. F. 1998. Comparison of growth response and nitrogen uptake by canola and wheat following application of nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (7): 1483-1499.
40. MAYNARD, D. G., STEWART, J. W. B., BETTANY, J. R. 1983. Use of plant analysis to predict sulfur deficiency in rapeseed (*Brassica napus* and *B. campestris*). *Can. J. Soil Sci.* 63: 387-396.
41. MENDHAM, N. J.; SCOTT, R. K. 1975. The limiting effect of plant size at inflorescence initiation on subsequent growth and yield of oilseed rape. (*Brassica napus*) *J. Agr. Sci. Camb.*, 84: 487-502.
42. (_____.); SALISBURY, P. A. 1995. Physiology: crop development, crop and yield. IN: Brassica oilseeds, production and utilization. CAB International, Wallingford, UK. pp 11-64.
43. MIRALLES, D. J., FERRO, B. C., SLAFER, G. A. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crop Research* 71: 211-223.

44. MURPHY, G. M.; PASCALE, N.C.1989. Agroclimatología de la colza de primavera (*Brassica napus* L. *sp oleifera* (Metz) Sinsk F. *Annua*) y su posible difución en la Argentina. Rev. Facultad de Agronomía, Bs. As., Argentina, 10 (3): 159-176.
45. NUTTALL, W. F.; BOSWELL, C. C.; SINCLAIR, A. G.; MOULIN, A. P.; TOWNLEY-SMITH, L. J.; GALLOWAY, G. L. 1993. The effect of time of application and placement of sulphur fertilizer sources on yield of wheat, canola, and barley. Commun. Soil Sci. Plant Anal.,24 (17&18), 2193-2202.
46. (_____.); MOULIN, A. P.; TOWNLEY-SMITH, L. J. 1992. Yield reponse of canola to nitrogen, phosphorus, precipitation and temperature. Agronomy Journal, 84: 765-768.
47. (_____.); UKRAINETZ, H. 1991. The effect of time of S application on yield and sulphur uptake of canola. Commun. In Soil Sci. Plant Anal., 22 (3&4): 269-281.
48. ORAM, R. N.;SALISBURY, P. A. KIRK, J. T. O; BURTON, W. A. 1999. Development of early flowering, canola-grade *Brassica Juncea* germoplasm. <http://www.regional.org.au/au/gcirc/4/50.htm>
49. PERDOMO, C.; BARBAZAN, M. 1999. Nitrógeno. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 71p.
50. (_____.); HOFFMAN, E.; PONS, C.; PASTORINI, M. 1999. Fertilización en cebada cervecera.
51. PERRY, R.1992. Canola needs more sulfur. Solutions November/December 1992. pp 38-39.
52. POUZET, A. 1995. Agronomy. IN: Brassica oilseeds, production and utilization. CAB International, Wallingford, UK. pp 65-94.
53. ROBERTSON, M. J.; HOLLAND, J, F.; CAWLEY, S.; BAMBACH, R.; COCKS, B.; WATKINSON, A. R. 2001. Phenology of canola cultivars in the northern region and implications for frost risk. <http://www.regional.org.au>

54. (_____.); HOLLAND, J. F.; BAMBACH, R.; CAWTHRAY, S. 1999. Response of canola and Indian mustard to sowing date in risky Australian environments. <http://www.regional.org.au/au/gcirc/2/483.htm>
55. SARANDÓN, S. J.; CHAMORRO, A. M.; TAMANGO, L. N.; BEZUS, R. 1996. Respuesta de la colza-canola (*Brassica napus* L. *sp oleifera* forma *annua*) a la fertilización con N a la siembra. Efecto sobre la acumulación y partición de la materia seca, el rendimiento y sus componentes. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 101 (2): 179-186.
56. SCOTT, N. 1981. Evaluation of sulphate status of soil by plant and soil tests. J. Sci. Food Agric., 32. pp 193-199.
57. SCOTT, R. K.; OGUNREMI, E. A.; IVINS, J. D.; MENDHAM, N. J. 1973. The effect of fertilizers and harvest date on growth and yield of oilseed rape sown in autumn and spring. J. Agric, Sci. Camb. 81: 283-293.
58. SCHEINDER, J. D.; GUTIERREZ-BOEM, F. H.; LAVADO, R. 2000. Fertilización en colza canola. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/scheiner/fertilización%20en%20colza>
59. SEEDQUEST. 2002. Saskatchewan Wheat Pool and Agriculture and Agri-Food Canada launch the first canola-quality *Brassica juncea* varieties in the world. <http://www.seedquest.com/News/release/2002/april/4379.htm>
60. SOPER, R. J. 1971. Soil test as a means of predicting response of rape to added N, P, and K. Agron. J. 63: 564-566.
61. SURSEM. Colza. <http://www.sursem.com.ar/semescz.htm>
62. SWP. 2000. New high-yielding juncea canola now available. <http://www.swp.com>
63. TAMANGO, L. N.; CHAMORRO, A. M.; SARANDÓN, S. J. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. *sp oleifera* forma *annua*): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. Rev. Fac. Agron., La Plata 104 (1): 25-34.

64. 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.). J. Agric. Sci., Camb. 85: 103-110.
65. THURLING, N. 1974a. Morphophysiological determinants of yield in rapeseed (*Brassica campestris* and *Brassica napus*). I. Growth and morphological characters. Aus. J. Agric. Res. 25: 697-710.
66. (_____.). 1974b. Morphophysiological determinants of yield in rapeseed (*Brassica campestris* and *Brassica napus*). II Yield Components. Aust. J. Agric. Res., 25: 711-721.
67. TOMM, G. O. 2000. Situação actual e perspectivas da canola no Brasil. http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co58.htm
68. VAN OPPEN, E. 2000a. Los si y los no de la colza. <http://agromail.net/agro/datos/a471-2729.htm>
69. VAN OPPEN, E. 2000b. Ventajas de la colza-canola en las rotaciones agropecuarias. <http://agromail.net/agro/datos/a465-2678.htm>
70. WALTON, G.; MENDHAM, N.; ROBERTSON, M.; POTTER, T. 1999. Phenology, physiology and agronomy. <http://regional.org.au/au/gcisc/canola/p-05.htm>
71. WOODS, D. L. 1992. Comparative performance of mustard and canola in the Peace River Region. Can. J. Plant Sci. 72: 829-830.
72. (_____.); CAPCARA, J. J.; DOWNEY, R. K. 1991. The potential of mustard (*Brassica juncea* (L.)Coss) as an edible oil crop on the Canadian prairies. Can. J. Plant Sci. 71: 195-198.
73. ZEEVAART, J. A. D. 1963. Climatic control of reproductive development. IN Environmental control of plant growth. EVANS, L. T. ed. Canberra, Australia, Academic Press. pp 289-310.

5.- ANEXOS

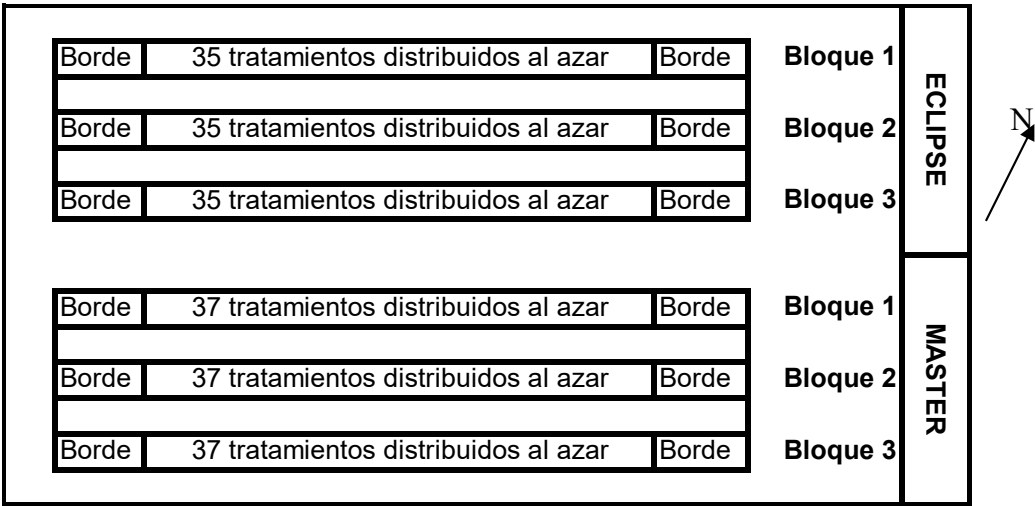
Anexo 1. Descripción del suelo

- 0-25 cm (Ap) Espesor 25 cm, color pardo muy oscuro (10YR 2/2); textura franco arcillo limosa, estructura en bloques subangulares, medios, moderados; transición clara.
- 25-65 cm (B2t) Espesor 40 cm, color gris muy oscuro o pardo grisáceo muy oscuro y pardo oscuro en su nivel inferior, textura arcillo limosa; estructuras en prismas medios y grandes fuertes, que rompen en bloques angulares medios, películas de arcilla y caras de deslizamiento continuas; concreciones de hierro chicas, comunes a abundantes y duras, transición gradual.
- 65-85 cm (B3) Espesor 20 cm; color pardo oscuro o pardo oscuro grisáceo a pardo; textura arcillo limosa, estructura similar al B2t transición clara o gradual.
- 85 + cm (Cca) Color pardo, textura arcillo limosa; estructura en bloques angulares medios, moderados; concreciones comunes y duras de carbonato de calcio.

Anexo 2. Promedios semanales de precipitación y temperatura media para una serie de años (1990-2002) y para el año de los ensayos (2003)

FECHA	1990-2002		2003	
	TM(°C)	PP(mm)	TM(°C)	PP(mm)
17-abr	15,5	20,6	17,3	10,4
24-abr	16,1	13,7	15,4	20,4
01-may	15,9	30,3	12,4	0,0
08-may	15,2	18,8	15,4	0,0
15-may	13,1	17,6	15,0	65,0
23-may	11,2	13,6	13,0	10,2
01-jun	10,9	20	10,2	0,6
08-jun	11,6	27	11,7	5,0
15-jun	10,5	14	12,2	0,3
23-jun	8,9	17	12,2	22,7
01-jul	9,0	6	11,3	19,1
08-jul	10,2	25	7,5	1,9
15-jul	8,7	14	9,8	0,0
23-jul	10,9	11	10,5	17,9
01-ago	10,4	8	11,2	52,0
08-ago	11,7	8	9,7	3,5
15-ago	12,5	14	12,7	0,0
23-ago	13,4	31	7,7	11,1
01-sep	12,5	31	14,9	122,6
08-sep	13,0	7	9,1	0,0
15-sep	13,6	25	13,5	36,0
23-sep	13,4	9	12,6	16,7
01-oct	14,3	20	17,0	11,8
08-oct	17,0	15	14,4	2,0
15-oct	16,7	43	18,2	18,1
23-oct	16,7	21	18,0	25,5
01-nov	17,9	39	17,4	0,0
08-nov	18,7	30	18,6	76,5
15-nov	19,1	25	17,6	43,7
23-nov	19,7	38	20,3	28,7

Anexo 3. Croquis del ensayo de fertilización



Anexo 4. Momento de inicio de los estadios fenológicos en el ensayo de fertilización y prácticas realizadas

Fecha	Estadio		Medición
	ECLIPSE	MASTER	
09-jun	Siembra		
11-jun			4 lt/ha de Premerline
23-jun	Emergencia		
30-jun		Emergencia	
29-jul	B3	B2	
11-ago	B4	B4	Biomasa, análisis de planta, área foliar
12-ago			Análisis de suelo y fertilización con urea
13-ago			Cobertura y fertilización con azufre
16-ago			0,5 lt/ha de Verdict, 2lt/ha de Lorsban
18-ago	C1	C1	
24-ago	C2	C2	
01-sep	D1	D1	
07-sep	D2	D2	
18-sep	E	E	
20-sep			Biomasa, análisis de planta, área foliar
22-sep			Análisis de suelo y fertilización con urea
26-sep	F1	F1	
01-oct			Análisis de hijas jóvenes
02-oct	F2	F2	
06-oct			Biomasa, análisis de planta, área foliar
08-oct	G1	G1	
10-oct	G2	G2	
25-oct	G3	G3	
29-oct			Biomasa, análisis de planta
31-oct			Componentes de rendimiento
10-nov	G4	G4	
14-nov	Cosecha		Biomasa, análisis de planta, rendimiento

Anexo 5. Evolución de la humedad en grano del tallo principal

Fecha	Humedad en grano	
27-oct	Eclipse arriba	72%
	Eclipse abajo	62%
	Master arriba	74%
	Master abajo	63%
31-oct	Eclipse arriba	65%
	Eclipse abajo	51%
	Master arriba	68%
	Master abajo	56%
03-nov	Eclipse	54%
	Master	58%
06-nov	Eclipse	49%
	Master	48%
10-nov	Eclipse	40%
	Master	40%
14-nov	Eclipse	37,5%
	Master	38%

Anexo 6: Biomasa (kg MS/ha) según nitrógeno agregado para los diferentes estadios de medición

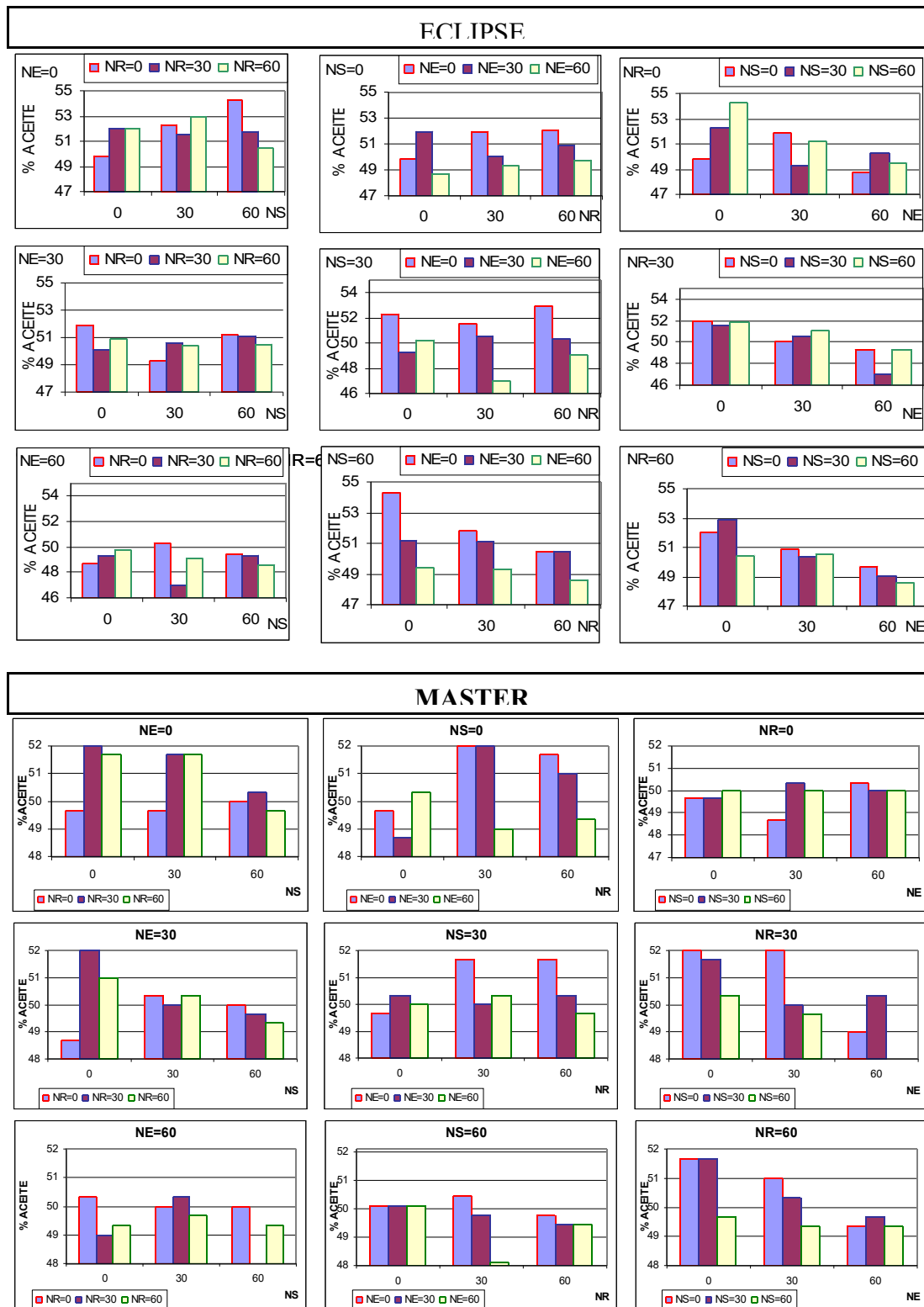
ECLIPSE

		B4	E	F2	G3	G4
NS	0	515 a	2961 a	4817 a	8621 a	5998 a
	30	725 b	3970 b	5487 a	8998 a	6584 b
	60	732 b	3891 b	6294 b	9170 a	7272 c
NR	0		3022 a	5038 a	7899 a	5876 a
	30		3873 b	5600 ab	8736 a	6660 b
	60		3927 b	5961 b	10154 b	7318 c
NE	0			5656 a	9328 a	6208 a
	30			4991 b	8122 b	6686 ab
	60			5951 a	9339 a	6961 b

MASTER

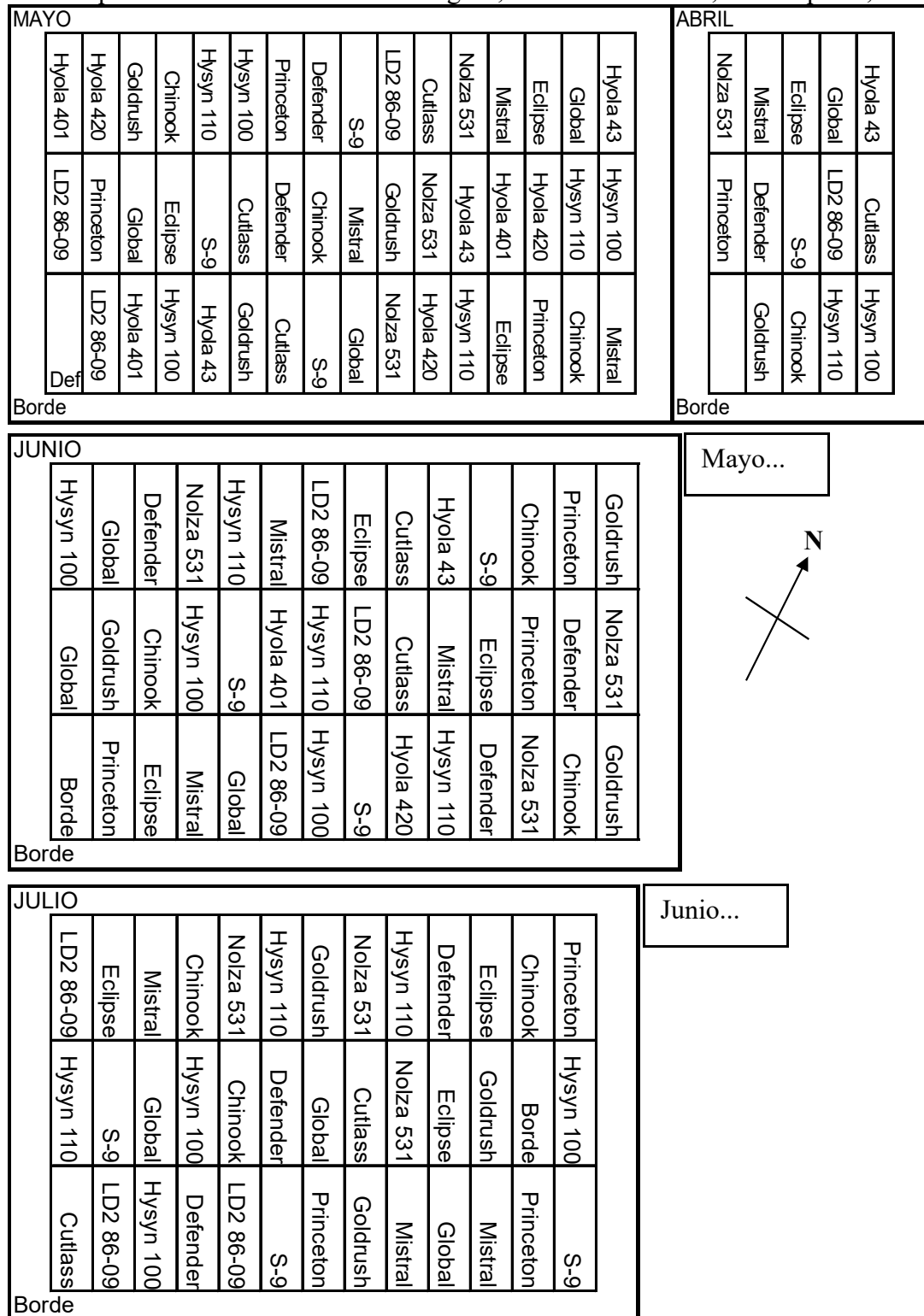
		B4	E	F2	G3	G4
NS	0	214 a	1804 a	3261 a	5963 a	4753 a
	30	240 a	2582 b	3636 a	6913 b	4808 a
	60	333 b	2443 b	4289 b	7365 b	5663 b
NR	0		1825 a	2620 a	5197 a	4170 a
	30		2427 b	4024 b	7079 b	5008 b
	60		2478 b	4541 b	7964 b	6019 c
NE	0			3311 a	6173 a	4813 a
	30			4200 b	6754 ab	5040 ab
	60			3674 a	7313 b	5343 b

Anexo 7. Efecto de la fertilización nitrogenada a la siembra, roseta y elongación sobre la concentración de aceite en grano de Eclipse



Anexo 8. Croquis del ensayo de fenología y época de siembra

Los bloques de cada fecha estaban contiguas, en orden creciente, en el espacio,



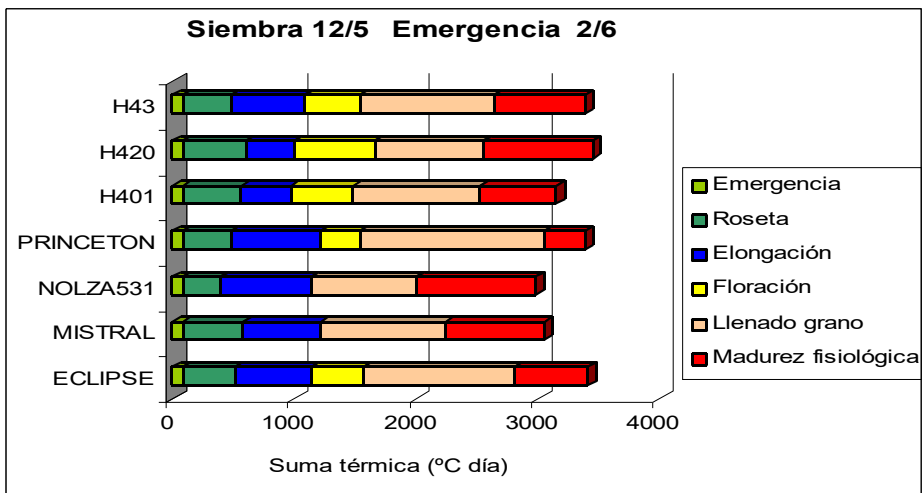
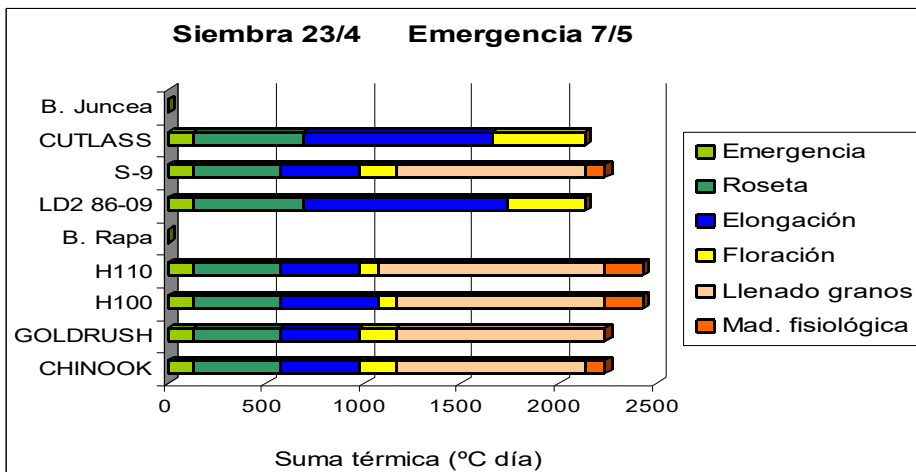
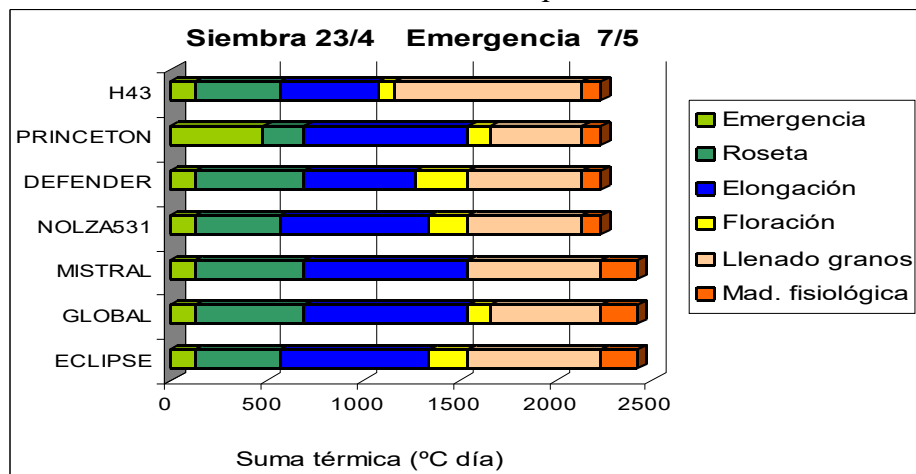
Anexo 9. Período de emergencia a cada estadio (escala CETIOM) en días para cada cultivar en función de la fecha de siembra

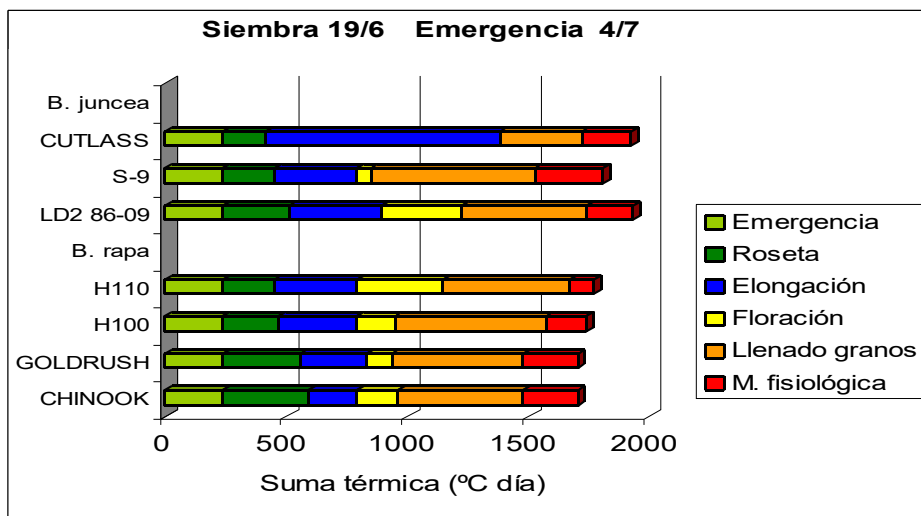
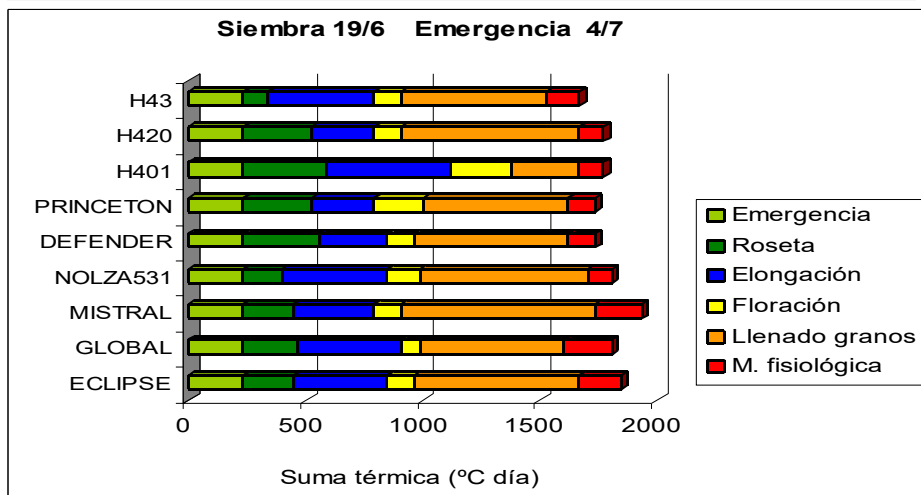
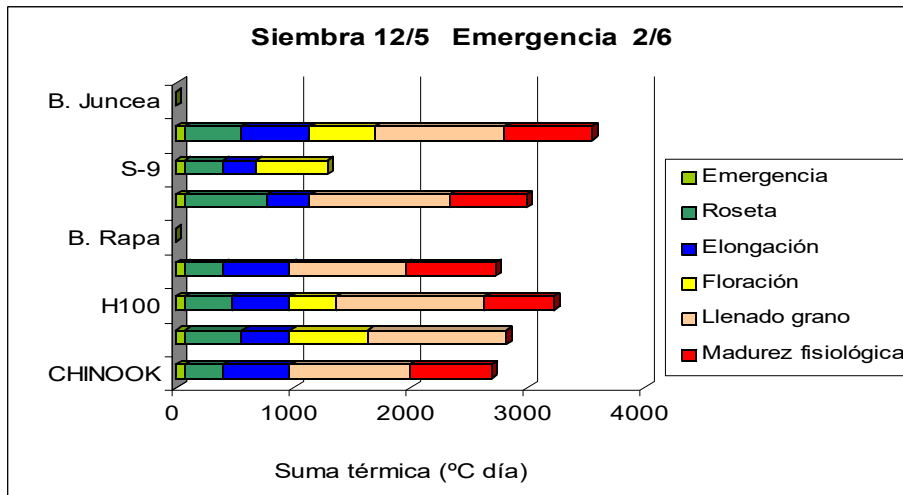
ABRIL	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1	D2	E	F1	F2	G1	G2	G3	G4	G5
CHIN	8	.	.	.	37	.	.	.	44	54	.	83	92	101	.	135	172	178
DEF	8	.	.	.	37	.	44	68	83	92	101	110	118	.	.	135	172	178
ECLIPSE	.	8	.	37	.	.	.	44	83	101	110	.	118	.	135	143	178	188
GLOBAL	8	.	.	37	.	.	.	54	101	110	118	.	135	.	143	157	178	188
GOLD	8	.	.	.	37	.	.	.	44	54	.	83	92	101	.	135	.	178
H100	8	.	.	37	.	.	.	44	54	.	83	92	.	101	110	135	178	188
H110	.	8	.	37	.	.	.	44	.	54	.	83	92	101	110	178	188	.
LD2	8	.	.	.	.	37	44	54	.	135	.	149	157	.	172	178	.	.
MIS	8	.	.	.	37	.	44	54	101	110	.	.	.	135	143	149	178	188
NOLZA	8	.	.	37	.	.	.	44	83	101	110	.	118	.	.	135	172	178
PRIN	.	.	37	.	.	.	44	54	101	110	118	.	135	.	.	143	172	178
S	8	.	.	.	37	.	.	.	44	54	83	92	101	110	135	172	178	.
CUT	8	.	.	.	.	37	44	54	.	135	.	143	149	.	172	178	.	.
H401	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H420	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
H43	.	8	.	37	.	.	.	44	54	.	83	.	92	101	110	118	172	178
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
MAYO	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1	D2	E	F1	F2	G1	G2	G3	G4	G5
CHIN	.	9	18	.	.	.	28	28	46	57	57	.	.	83	98	106	137	144
DEF	.	9	.	.	.	.	28	.	.	.	.	74	.	.	.	.	.	.
ECLIPSE	.	9	18	.	.	.	28	40	70	83	91	.	98	98	.	106	141	151
GLOBAL	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
GOLD	.	9	18	.	.	.	28	.	46	.	57	.	83	.	98	106	.	151
H100	.	9	.	.	.	.	28	37	57	70	.	.	83	83	98	102	141	151
H110	.	9	18	.	.	.	28	28	50	66	74	.	83	.	98	135	146	.
LD2	.	9	.	.	.	.	28	.	66	83	91	.	98	.	106	135	151	.
MIS	.	9	18	.	.	.	28	47	87	.	90	.	106	112	117	141	151	.
NOLZA	.	9	18	.	.	.	28	66	80	91	.	.	98	106	108	138	151	.
PRIN	.	9	.	.	.	.	28	37	74	83	.	.	98	.	106	.	151	.
S	.	9	18	.	.	.	28	28	46	.	57	.	83	.	.	.	.	.
CUT	.	9	.	.	.	.	28	46	.	83	.	.	98	.	106	109	141	151
H401	.	9	18	.	.	.	28	46	50	66	71	.	83	87	83	101	135	141
H420	.	9	18	.	.	.	28	50	66	74	79	87	87	98	.	101	135	148
H43	.	9	18	.	.	.	28	37	56	71	83	.	95	98	102	108	135	151
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
JUNIO	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1	D2	E	F1	F2	G1	G2	G3	G4	G5
CHIN	.	25	25	.	34	42	34	.	51	68	84	.	76	88	93	106	118	131
DEF	.	25	25	34	34	42	42	55	59	76	76	80	84	88	.	98	126	133
ECLIPSE	.	25	.	.	.	.	34	45	51	76	76	80	84	88	94	108	129	138
GLOBAL	.	25	25	.	.	.	38	45	76	76	84	84	.	90	98	113	126	137
GOLD	.	25	25	34	34	.	42	55	55	.	76	.	79	86	90	98	118	131
H100	.	25	25	.	.	.	34	47	55	.	76	76	84	87	90	98	124	133
H110	.	25	25	.	34	.	38	45	59	75	98	76	76	99	87	102	129	135
LD2	.	25	25	.	34	42	42	51	68	80	98	76	.	103	90	112	133	143
MIS	.	25	25	.	34	.	34	45	.	62	84	.	76	84	95	108	133	143
NOLZA	.	25	34	.	.	.	42	40	68	68	84	84	90	90	98	113	131	137
PRIN	.	25	34	.	34	42	34	51	55	76	84	.	76	91	90	103	126	133
S	.	25	25	34	34	.	38	45	.	59	84	.	76	80	88	106	120	137
CUT	.	25	25	.	34	.	43	42	64	75	98	.	.	113	84	105	132	143
H401	.	.	25	.	34	42	51	59	84	90	.	98	.	113	.	113	129	135
H420	.	25	.	.	.	.	34	.	51	59	.	76	.	84	90	98	129	135
H43	.	.	25	.	.	.	.	34	51	59	.	.	76	.	84	90	119	129
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
JULIO	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1	D2	E	F1	F2	G1	G2	G3	G4	G5
CHIN	.	25	25	33	.	.	33	33	53	61	58	72	76	68	72	89	114	127
DEF	.	25	33	.	.	.	50	53	.	63	64	72	72	.	.	87	110	125
ECLIPSE	.	25	25	.	.	.	33	44	58	64	64	.	72	.	72	87	113	127
GLOBAL	.	25	33	.	.	.	50	50	64	58	72	64	.	72	.	87	110	132
GOLD	.	25	33	.	.	.	50	50	57	58	72	64	.	68	87	89	107	125
H100	.	25	30	.	.	.	33	50	54	60	64	68	.	72	72	87	108	125
H110	.	25	25	.	.	.	42	55	.	65	61	.	87	72	93	87	109	127
LD2	.	25	25	33	.	.	33	50	.	67	.	64	87	72	.	87	115	135
MIS	.	25	25	.	.	.	33	50	61	64	72	.	.	.	87	87	115	135
NOLZA	.	25	25	33	.	.	33	42	58	57	64	65	64	72	.	87	110	130

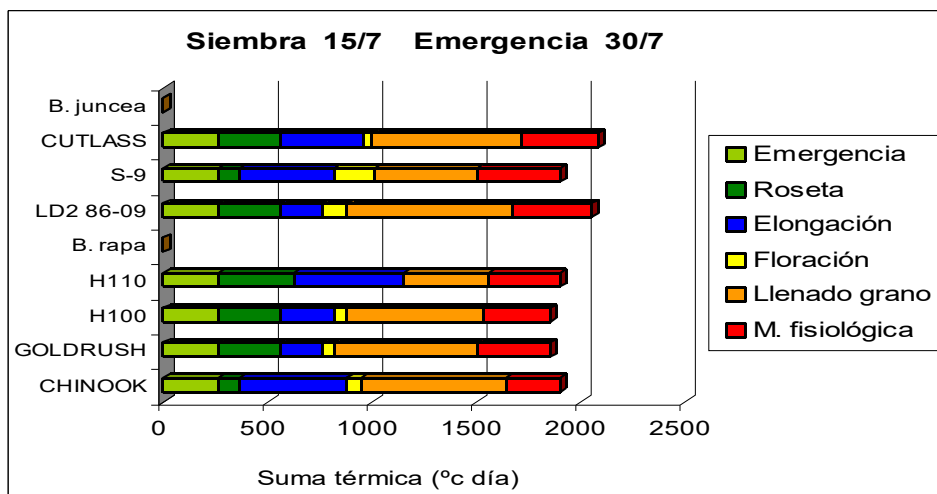
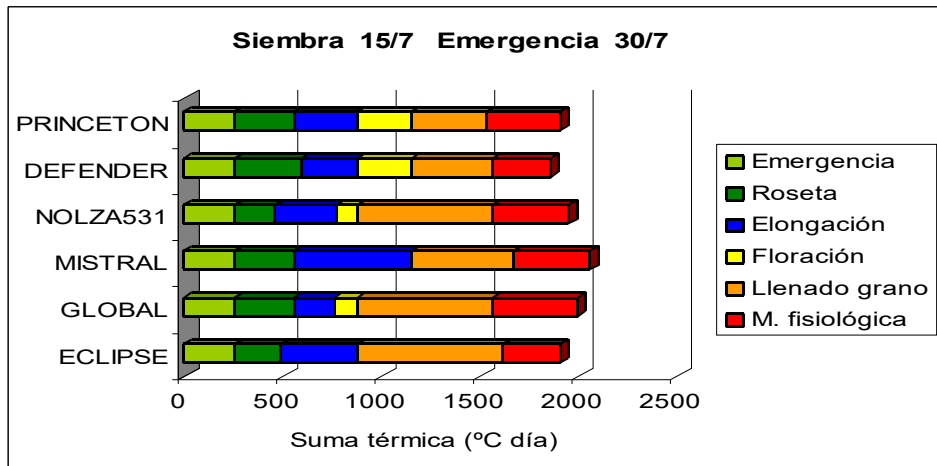
Anexo 10 . Período de emergencia a cada estadio (escala CETIOM) en °C.día para cada cultivar en función de la fecha de siembra.

ABRIL	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1	D2	E	F1	F2	G1	G2	G3	G4	G5
CHIN	125,5				482,3				570,1	692,6		975,9	1077,4	1164,3		1545,7	2136,3	2236,8
DEF	125,5				482,3		570,1	824,9	975,9	1077,4	1164,3	1272,6	1344,5			1545,7	2136,3	2236,8
ECLIPSE		125,5		482,3				570,1	975,9	1164,3	1272,6		1344,5		1545,7	1660,9	2236,8	2427,6
GLOBAL	125,5			482,3				692,6	1164,3	1272,6	1344,5		1545,7		1660,9	1868,7	2236,8	2427,6
GOLD	125,5				482,3				570,1	692,6		975,9	1077,4	1164,3		1545,7		2236,8
H100	125,5			482,3				570,1	692,6		975,9	1077,4		1164,3	1272,6	1545,7	2236,8	2427,6
H110		125,5		482,3				570,1		692,6			975,9	1077,4	1164,3	1272,6	2236,8	2427,6
LD2	125,5					482,3	570,1	692,6		1545,7		1741,7	1868,7		2136,3	2236,8		
MIS	125,5				482,3		570,1	692,6	1164,3	1272,6				1545,7	1660,9	1741,7	2236,8	2427,6
NOLZA	125,5			482,3				570,1	975,9	1164,3	1272,6		1344,5			1545,7	2136,3	2236,8
PRIN			482,3				570,1	692,6	1164,3	1272,6	1344,5		1545,7			1660,9	2136,3	2236,8
S	125,5				482,3					570,1	692,6	975,9	1077,4	1164,3	1272,6	1545,7	2136,3	2236,8
CUT	125,5					482,3	570,1	692,6		1545,7		1660,9	1741,7		2136,3	2236,8		
H401																		
H420																		
H43		125,5		482,3				570,1	692,6		975,9		1077,4	1164,3	1272,6	1344,5	2136,3	2236,8
MAYO																		
CHIN		83,1	192,9				315,4	315,4	484,6	598,7	598,7			888,1	1060,6	1130,9	1599,5	1721,8
DEF		83,1					315,4					777,9						
ECLIPSE		83,1	192,9				315,4	428,6	734,7	879,7	953,2		1060,6	1060,6		1130,9	1665,9	1846,5
GLOBAL																		
GOLD		83,1	192,9				315,4		484,6		598,7		888,1		1060,6	1130,9		1846,5
H100		83,1					315,4	411,7	598,7	734,7			888,1	888,1	1060,6	1101,5	1665,9	1846,5
H110		83,1	192,9				315,4	315,4	521,5	700,2	777,9			888,1		1060,6	1557	1759,1
LD2		83,1					315,4		700,2	888,1	953,2			1060,6		1130,9	1557	1846,5
MIS		83,1	192,9				315,4	484,6	916,9		941,2		1130,9	1215,4	1283,7	1665,9	1846,5	
NOLZA		83,1	192,9				315,4	700,2	862,5	953,2			1060,6	1130,9	1154,4	1619,9	1846,5	
PRIN		83,1					315,4	411,7	777,9	888,1			1060,6		1130,9		1846,5	
S		83,1	192,9				315,4	315,4	484,6		598,7		888,1					
CUT		83,1					315,4	484,6		888,1			1060,6		1130,9	1168,5	1665,9	1846,5
H401		83,1	192,9				315,4	484,6	521,5	700,2	746,7		888,1	916,9	888,1	1077,8	1557	1665,9
H420		83,1	192,9				315,4	521,5	700,2	777,9	829	916,9	916,9	1060,6		1077,8	1557	1773,9
H43		83,1	192,9				315,4	411,7	588,1	746,7	888,1		1001,4	1060,6	1101,5	1154,4	1557	1846,5
JUNIO																		
CHIN		236,8	236,8		338,3	416	338,3		526,2	707	908,2		792,5	958,5	1020,2	1237,6	1470,4	1704,9
DEF		236,8	236,8	338,3	338,3	416	416	555	591,3	792,5	792,5	853,5	908,2	958,5		1120	1581,3	1734,6
ECLIPSE		236,8					338,3	450,3	526,2	792,5	792,5	853,5	908,2	958,5	1058,8	1287,7	1668	1822,6
GLOBAL		236,8	236,8				372,8	450,3	792,5	792,5	908,2	908,2		989,5	1120	1379,7	1581,3	1789,3
GOLD		236,8	236,8	338,3	338,3		416	555	555		792,5		818,8	932,5	989,5	1120	1470,4	1704,9
H100		236,8	236,8				338,3	467,1	555		792,5	792,5	908,2	943,1	989,5	1120	1543,7	1734,6
H110		236,8	236,8		338,3		372,8	450,3	591,3	769	1120	792,5	792,5	1120	943,1	1172,9	1668	1771,8
LD2		236,8	236,8		338,3	416	416	517,8	707	833,2	1120	792,5		1195,1	989,5	1359,9	1734,6	1912,8
MIS		236,8	236,8		338,3		338,3	450,3		639,5	908,2		792,5	908,2	1077	1287,7	1734,6	1912,8
NOLZA		236,8	338,3				416	384,8	707	707	908,2	908,2	989,5	989,5	1120	1379,7	1704,9	1789,3
PRIN		236,8	338,3		338,3	416	338,3	526,2	555	792,5	908,2		792,5	989,5	989,5	1195,1	1581,3	1734,6
S		236,8	236,8	338,3	338,3		372,8	450,3		591,3	908,2		792,5	853,5	958,5	1237,6	1497,7	1789,3
CUT		236,8	236,8		338,3		416	416	660,1	769	1120			1379,7	908,2	1217,2	1718,3	1894,9
H401			236,8		338,3	416	526,2	591,3	908,2	989,5		1120		1379,7		1379,7	1668	1771,8
H420		236,8				338,3		526,2	591,3		792,5		908,2	989,5	1120	1668	1771,8	
H43			236,8				338,3	526,2	591,3			792,5		908,2	989,5	1484,6	1668	
JULIO																		
CHIN		279,2	279,2	344,3			344,3	344,3	571,8	696,1	661,2	873	908,3	811,8	873	1165	1589,4	1867,6
DEF		279,2	344,3				545,5	571,8		711,5	742,5	873	873			1132,7	1542,3	1833,4
ECLIPSE		279,2	279,2				344,3	492,6	661,2	742,5	742,5		873		873	1132,7	1575,6	1867,6
GLOBAL		279,2	344,3				545,5	545,5	742,5	661,2	873	742,5		873		1132,7	1542,3	1958,7
GOLD		279,2	344,3				545,5	545,5	647,8	661,2	873	742,5		811,8	1132,7	1165	1471,3	1833,4
H100		279,2	314,9				344,3	545,5	606,5	685,5	742,5	811,8		873	873	1132,7	1507,2	1833,4
H110		279,2	279,2				460	606,5		755,6	696,1		1132,7	873	1237,6	1132,7	1524,8	1867,6
LD2		279,2	279,2	344,3			344,3	545,5		792,6		742,5	1132,7	873		1132,7	1629,2	2018
MIS		279,2	279,2				344,3	545,5	696,1	742,5	873				1132,7	1132,7	1629,2	2018
NOLZA		279,2	279,2	344,3			344,3	460	661,2	647,8	742,5	755,6	742,5	873		1132,7	1542,3	1905,5

Anexo 11: Acumulación térmica de las etapas de desarrollo







ANEXO 12: Análisis de varianza para la variable rendimiento en grano en Eclipse.

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	17308664.35	618166.58	6.16	<.0001
Error	52	5215605.75	100300.11		
Corrected Total	80	22524270.1			
R-Square	CoeffVar	Root MSE	VAR Mean		
0.768445	13.19293	316.7019	2400.543		
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOQ	2	608982.247	304491.123	3.04	0.0566
NS	2	4470301.21	2235150.605	22.28	<.0001
NR	2	5762180.173	2881090.086	28.72	<.0001
NS*NR	4	596204.049	149051.012	1.49	0.2199
NE	2	4216307.58	2108153.79	21.02	<.0001
NS*NE	4	152303.086	38075.772	0.38	0.8222
NR*NE	4	628074.79	157018.698	1.57	0.1973
NS*NR*NE	8	874311.21	109288.901	1.09	0.3852

ANEXO 13: Análisis de varianza para la variable rendimiento en grano en Master.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	11353147.16	405469.54	2.1	0.0101
Error	52	10025047.16	192789.37		
Corrected Total	80	21378194.32			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	VAR Mean
0.531062	23.57270	439.0779	1862.654

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOQ	2	549114.173	274557.086	1.42	0.2499
NS	2	765929.58	382964.79	1.99	0.1475
NR	2	7085955.136	3542977.568	18.38	<.0001
NS*NR	4	802930.494	200732.623	1.04	0.395
NE	2	988307.136	494153.568	2.56	0.0868
NS*NE	4	508157.383	127039.346	0.66	0.6233
NR*NE	4	215471.16	53867.79	0.28	0.89
NS*NR*NE	8	437282.099	54660.262	0.28	0.9685