

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA EN
Brassica carinata

por

Nicolás BORRONE VILA
Nicolás RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (PhD.) Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Ing. Agr. (PhD.) Oswaldo Ernst

Fecha: 10 de mayo de 2022

Autores:

Nicolás Borrone Vila

Nicolás Rodríguez Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias que fueron nuestro apoyo incondicional en todo el camino recorrido.

Amigos y personas allegadas que fueron incansables a nuestro lado durante el tiempo que nos llevó el trabajo.

Facultad de Agronomía y todo lo que ello implica que nos permitió formarnos como personas y profesionales.

Al Ing. Agr. Sebastián Mazzilli, director de este trabajo por su excelente y constante disposición y paciencia durante todo este tiempo.

A Federico Domínguez que con su apoyo incondicional logramos sobrellevar el trabajo de campo.

A UPM Biofuels que destinó los recursos para que el trabajo se pueda llevar a cabo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
2.2. DEMANDA NUTRICIONAL.....	3
2.2.1. <u>Nitrógeno</u>	3
2.2.2. <u>Azufre</u>	5
2.2.3. <u>Fósforo</u>	6
2.2.4. <u>Potasio</u>	7
2.2.5. <u>Comparaciones</u>	7
2.3. NITRÓGENO Y AZUFRE EN LOS SUELOS DEL URUGUAY.....	8
2.4. INTERACCIÓN ENTRE NITRÓGENO Y AZUFRE.....	8
2.5. FRACCIONAMIENTO Y MOMENTO DE APLICACIÓN.....	9
2.6. EFICIENCIA EN EL USO DE LOS NUTRIENTES.....	10
2.7. CURVA DE DILUCIÓN E ÍNDICES DE ESTADO NUTRICIONAL.....	11
2.8. RENDIMIENTO POTENCIAL Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	13
2.9. HIPÓTESIS.....	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. LOCALIZACIÓN.....	15
3.2. TRATAMIENTOS APLICADOS.....	16
3.3. MUESTREO DE SUELOS.....	17
3.4. MUESTREO DE BIOMASA Y RENDIMIENTO.....	17
3.5. EFICIENCIA EN EL USO DE LOS NUTRIENTES.....	18
3.6. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL EXPERIMENTO.....	19

4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	21
4.1.1.	<u>Precipitaciones</u>	21
4.1.2.	<u>Temperatura</u>	22
4.2.	ANÁLISIS DE ENSAYOS	23
4.2.1.	<u>Dinámica de la población y su efecto en el rendimiento</u>	24
4.2.2.	<u>Absorción de nitrógeno y azufre</u>	34
4.2.3.	<u>Estado nutricional del cultivo</u>	42
4.2.4.	<u>Eficiencia de uso de nutrientes</u>	48
4.2.5.	<u>Extracción de nitrógeno y azufre</u>	52
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	53
6.	<u>RESUMEN</u>	54
7.	<u>SUMMARY</u>	56
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	58
9.	<u>ANEXOS</u>	67

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción del sitio	15
2. Tratamientos	16
3. Resultados análisis de suelo al momento de instalar los experimentos.	17
4. Rendimiento en grano y componentes del rendimiento	27
5. Estado nutricional del cultivo en el estadio de C1	43
6. Extracción de nutrientes cada 1000 kg de grano	52

Figura No.

1. Ubicación de ensayos	15
2. Precipitaciones mensuales acumuladas promedio para el año 2018 con relación a la serie histórica 2002-2017 para Paysandú	22
3. Temperatura media mensual promedio para el año 2018 en relación a la serie histórica 2002-2017 para la localidad de Paysandú.....	23
4. Rendimiento y error estándar por tratamiento	24
5. Población de plantas por unidad de superficie según estadios del cultivo	25
6. Relación entre población a cosecha y rendimiento en grano	26
7. Relación entre el rendimiento en grano y el número de granos por unidad de superficie	28
8. Relación entre rendimiento en grano y el peso grano	29
9. Componentes del rendimiento 1.....	30
10. Componentes del rendimiento 2.....	31

11. Rendimiento en grano, en función de la biomasa total acumulada a cosecha	32
12. Relación entre rendimiento en grano e índice de cosecha (IC)	33
13. Relación entre materia grasa y rendimiento	34
14. Absorción de nitrógeno y azufre en tratamientos testigos	35
15. Nitrógeno absorbido a cosecha por los diferentes tratamientos con relación al rendimiento	36
16. Azufre absorbido a cosecha por los diferentes tratamientos con relación al rendimiento	37
17. Nitrógeno y azufre absorbidos según el agregado de nutriente a siembra	38
18. Relación entre nitrógen absorbido y azufre absorbido	39
19. Absorción de nitrógeno de siembra a cosecha según tratamiento	40
20. Nitrógeno y azufre absorbidos en C1 según dosis agregada a la siembra	41
21. Absorción de nitrógeno a floración según el agregado en estado C1	42
22. Curva de dilución de nitrógeno y azufre	43
23. Relación entre el índice de nutrición nitrogenada (INN) e índice de nutrición azufrada (INS) según la dosis de nitrógeno y azufre agregada a implantación	44
24. Relación entre el nitrógeno absorbido a C1 y el índice de nutrición nitrogenada (INN) según nitrógeno agregado a implantación	45
25. Relación entre el azufre absorbido a C1 y el índice de nutrición azufrada (INS) según azufre agregado a implantación	46
26. Relación entre la biomasa obtenida a C1 y el índice de nutrición nitrogenada (INN)	46
27. Relación entre índice de nutrición nitrogenada (INN) y índice de cosecha (IC)	47

28.	Eficiencia de uso del nitrógeno.....	48
29.	Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno	49
30.	Eficiencia de recuperación de nitrógeno en floración	50
31.	Eficiencia de recuperación de nitrógeno y azufre según tratamiento a fin de ciclo.....	51

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el cultivo de *Brassica sp.* ha ampliado su participación en la agricultura uruguaya, luego de un período de casi dos décadas en el que mantuvo una muy reducida expresión, logrando aumentos tanto en el área de siembra como en rendimiento por hectárea. Para el año 2018 la superficie sembrada de *Brassica sp.* llegó a las 55.000 ha, casi un 4 % más que en la zafra anterior y su rendimiento se estimó en 1.646 kilogramos por hectárea (MGAP. DIEA, 2018).

Desde el punto de vista agronómico, *Brassica sp.* reúne una serie de características que la hacen atractiva para su inclusión en los sistemas agrícolas nacionales. Entre ellas, la flexibilidad en la fecha de siembra, un ciclo que posibilita realizar una cosecha temprana y rastros de fácil manejo. La siembra óptima para Uruguay es entre mediados de mayo y junio, se cosecha en noviembre y libera el suelo de manera temprana para la siembra de cultivos de verano de segunda.

La inclusión del cultivo en el sistema agrícola contribuye a la cobertura del suelo durante el invierno y al aporte de carbono orgánico al sistema. Asimismo, otorga la posibilidad de incluir un cultivo de otra especie en la fase invernal de la secuencia de cultivos (en la que hay un amplio predominio de las gramíneas tradicionales como trigo, cebada y avena), actuando como una nueva herramienta en el control cultural de plagas y enfermedades, al mismo tiempo que facilita el control de malezas, al permitir al productor alternar grupos de agroquímicos, factor fundamental a tener en cuenta si se quiere evitar la aparición de biotipos resistentes. Es así que la necesidad de contar con un sistema agrícola sostenible en términos productivos, ambientales y económicos, así como diversificar riesgos asociados al clima y a los mercados, posicionan favorablemente a *Brassica sp.*, superando los atractivos de un “puente verde” (Rava y Souto, 2018).

El potencial de rendimiento de *Brassica carinata* es de aproximadamente 5.000 kg ha⁻¹. En la zafra 2017 el rendimiento promedio se ubicó entorno 1500-1600 kg/ha una productividad por encima de la lograda en *Brassica napus*, la cual tiene un rendimiento promedio histórico en el Uruguay de 1400 kg/ha. Una de las limitantes más importantes es la falta de un modelo de fertilización para nitrógeno (N) y azufre (S).

El objetivo del siguiente trabajo es evaluar la respuesta a N y S en el cultivo de *Brassica carinata* y conocer si las herramientas de decisión generadas para colza son aplicables a este cultivo. Para poder cumplir con estos objetivos

se llevaron adelante una serie de ensayos experimentales en los que mediante la fertilización con N y S se generaron diferentes curvas de absorción para estos nutrientes. En este trabajo se presentan los resultados de uno de esos ensayos llevados a cabo en a zafra 2018.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La colza es una oleaginosa de origen asiático perteneciente a la familia de las Brassicáceas, que agrupa a varias especies del género *Brassica* (*B. napus*, *B. rapa* –las principales- y *B. juncea*) que reciben igual nombre. Es de ciclo invernal, con un alto contenido en lípidos y un contenido medio en proteínas. Se cultiva alrededor de todo el mundo y sus principales usos son la producción de aceite vegetal para consumo humano e industrial (en especial para elaborar biodiesel) y de harina proteica para alimentación animal (Rava y Souto, 2018).

Brassica carinata es un cultivo similar a la colza, del cual se puede extraer aceite no apto para consumo humano, pero con una destacable calidad como materia prima para la generación de biocombustibles. Su remanente tiene elementos proteicos que sirven para la alimentación animal. Resultados previos muestran que el contenido promedio de aceite en *Brassica carinata* es de aproximadamente 40,2% mientras que la canola promedia en 45,6%, sin embargo, la producción de aceite de *Brassica carinata* sería 16% mayor que la colza. Esto ocurre porque, si bien *Brassica carinata* posee menor índice de cosecha (IC carinata = 0,35; IC canola = 0,41) y menor contenido en aceite, produce un 52% más de biomasa total y es esto lo que le permite tener mayores rendimientos de aceite por unidad de superficie (Gesch et al., 2015).

2.2. DEMANDA NUTRICIONAL

2.2.1. Nitrógeno

La disponibilidad de nitrógeno (N) es uno de los principales factores que controlan el crecimiento, la asimilación de CO₂ y la productividad de las brassicas, sin embargo, se sabe poco sobre las respuestas fisiológicas y morfológicas de *B. carinata* al N (Seepaul et al., 2016). Las brassicas son altamente sensibles a la aplicación de N (Hocking et al., 1997b) y requieren tasas de agregado relativamente altas para la obtención de rendimientos óptimos (Malagoli et al. 2005, Rathke et al. 2005). *Brassica sp.* tiene un consumo de N durante el estado vegetativo relativamente alto hasta iniciarse el estado reproductivo, donde disminuye su consumo y comienza la translocación de N de las hojas y tallos a las semillas en desarrollo (Wiesler et al., 2001).

En cuanto a los efectos positivos del N sobre los componentes del rendimiento, este nutriente logra aumentos del rendimiento, a través del incremento de la densidad de silicuas, y no por un aumento en el peso de grano

(Miller et al., 2003), dentro de los componentes numéricos del rendimiento el número de granos es más sensible que el peso de grano frente a cambios en la disponibilidad de nitrógeno (Peltonen-Saino y Jauhiainen, 2008). En cuanto al índice de cosecha el mismo no muestra respuesta frente a distintas disponibilidades de nitrógeno (Miller et al., 2003).

Es probable que bajo elevados niveles de N se impida que el máximo potencial sea logrado debido a que pueden formarse silicuas en exceso, las cuales se somborean entre sí dentro del cultivo, a la vez, si las silicuas no abortan los requerimientos del cultivo permanecen altos, dejando a este más susceptible a otros factores que puedan aparecer (plagas, enfermedades, clima), reduciendo el rendimiento, o el mismo cultivo no pueda proveer suficientes asimilados para completar el llenado de los granos (Almond et al., 1986).

En cuanto a los requerimientos de N por parte del cultivo de colza, se encuentran distintos valores, que van desde 48 kg de N Mg grano⁻¹ (Rubio et al., 2007) hasta 70 kg de N Mg grano⁻¹ (Valetti, 1996). No obstante, los valores más frecuentes de requerimientos de N se hallan entre 54 y 60 kg de N Mg grano⁻¹ (Colnenne et al. 1998, Rubio et al. 2007, Scheiner 2007, Ciampitti y García 2009). Para estimar si el cultivo de colza se encuentra en condiciones nutricionales correctas se utiliza la concentración de N crítico (N_c) como una referencia fundamental en cualquier etapa de crecimiento, ya que permite determinar si la nutrición nitrogenada de los cultivos es óptima o subóptima con respecto a la tasa de crecimiento del cultivo (Gastal y Lemaire, 2002).

La concentración crítica es definida como la mínima concentración de N requerida para lograr la máxima tasa de crecimiento del cultivo (Greenwood, 2001). El rango de requerimiento de nitrógeno en biomasa puede variar entre 2,5 y 4% según el estadio. Valores por debajo de 2% son considerados insuficientes mientras que superiores al 5% puede ser excesivos (Grant y Bailey, 1993). Ferreira y Ernst (2014) analizando los índices de nutrición nitrogenada (INN) encontraron un valor crítico de 1,04 para la producción de biomasa en el estadio de C1. El INN es calculado a partir del cociente entre la concentración de N en el cultivo, para una acumulación de materia seca determinada, y la concentración crítica queda determinada por la curva de dilución.

2.2.2. Azufre

Como segundo nutriente principal, se ubica el azufre (S), el cultivo de colza ha mostrado ser extremadamente sensible a la deficiencia de este nutriente, llegando a no producir grano en condiciones de deficiencia severa (Mazzilli y Hoffman, 2010). Los síntomas de la deficiencia son fáciles de apreciar

en floración ya que los requerimientos de S durante esta etapa son importantes la insuficiencia de S puede provocar también atrasos en la floración y maduración, la planta produce vainas pequeñas que se ubican principalmente en el estrato superior de la planta (Grant y Bailey, 1993).

En un experimento realizado por Mazzilli y Hoffman (2010) en Uruguay, en el departamento de Paysandú, se comparan dos tratamientos, uno al que se le aplicó 20 kg de S por hectárea a la siembra y al otro no se le agregó este nutriente. En el que se le agregó 20 kg de S el rendimiento concretado fue cuatro veces superior al testigo (2138 kg ha⁻¹ vs. 556 kg ha⁻¹). La baja disponibilidad de S limita el número de granos por silicua, inclusive cuando la disponibilidad de N es adecuada, 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 (Hocking et al., 1997a). La respuesta al azufre se manifiesta en parcelas con historia agrícola prolongada, bajo contenido de materia orgánica, erosión y escasa historia de fertilización azufrada (Ferraris et al., 2004).

El azufre se ha relacionado de manera directa con los componentes del rendimiento y el rendimiento en *Brassica juncea* (Kumar et al., 2011), tiene también efecto significativo en cuanto a niveles de clorofila, aceite, ácidos grasos y síntesis de proteínas (Altaf Ahmad y Abdin, 2000) así como también glucosinolatos en semilla (Falk et al., 2007). Tanto N y S son importantes en cultivos de semillas oleaginosas para la síntesis de proteínas. El equilibrio apropiado de N, P, K y S son esenciales para optimizar la producción de proteínas, la síntesis de aceite y rendimiento (Yasari y Patwardhan, 2006).

El agregado de S en suelos deficientes muestra con frecuencia una respuesta positiva en el rendimiento (Janzen y Bettany, 1984). Un incremento en la disponibilidad de S se asoció con un mayor contenido de aceite en grano (Zhao y McGrath 1994, Asare y Scarisbrick 1995, Altaf Ahmad y Abdin 2000) y glucosinolatos (utilizados en la producción de biocombustibles) en el aceite (Fismes et al., 2000). Respecto a los requerimientos de S del cultivo de colza, presenta un valor promedio de 12 kg Mg grano⁻¹, que supera los requerimientos de los cereales (Ciampitti y García, 2009). En cuanto a la determinación de la dosis a aplicar, para el caso del azufre en particular, no existe correlación directa entre el S extractable de suelo y el rendimiento obtenido, por lo cual el S extractable carece de valor como herramienta para diagnosticar la necesidad de fertilización azufrada (Zhao y McGrath, 1994).

Según Pinkerton (1998), el contenido de S total en la biomasa fue uno de los indicadores más satisfactorios del estado nutricional del cultivo. Por otra parte,

Ferreira y Ernst (2014) determinaron mediante las curvas de dilución los valores críticos en el índice de nutrición azufrada en el estadio de C1 (INS) 0,88 y 0,74 para la máxima producción de biomasa y producción de grano respectivamente. Otros autores como Grant y Bailey (1993), mencionan que cuando el contenido en planta es menor a 0,20% es considerado bajo, entre 0,20 % y 0,25% marginal, y excesivo cuando supera el 1%.

2.2.3. Fósforo

En cuanto a fósforo (P), mantener el cultivo de colza fuera de la deficiencia es fundamental, porque permite una adecuada implantación y permite obtener una roseta de mayor tamaño en menor tiempo (Iriarte, 2002), también permite un mayor desarrollo radical con más ramificaciones y raíces secundarias, favoreciendo la exploración del suelo y por tanto una mayor capacidad de soportar adversidades climáticas (Martino y Ponce de León, 1999).

En estudios realizados por los grupos CREA de la zona “Mar y Sierras”, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, González Montaner y Di Napoli (2009) observaron que la fertilización fosforada en colza se puede manejar de igual manera que para el cultivo de trigo, pero con niveles umbrales de P extractable Bray-1 mayores a 15 ppm. Debajo de estos niveles umbrales, la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada se incrementa y, por encima del mismo, la probabilidad disminuye, en términos de respuesta física y retorno económico del cultivo.

La absorción de P por Mg de grano es superior a la de trigo o cebada debido al mayor contenido de proteína en el grano (Martino y Ponce de León, 1999) y además estos requerimientos son superiores a los de otras oleaginosas como soja y girasol, y promedian entre 7 y 11 kg de P Mg grano⁻¹ según información reportada por Ciampitti y García (2009). Los requerimientos de P en colza oscilan entre 13 y 17 kg de P Mg grano⁻¹, calculados a partir de información de diversos autores (Rubio et al. 2007, Scheiner 2007, Ciampitti y García 2009).

2.2.4. Potasio

El potasio (K) es muy importante para el desarrollo de la planta y es utilizado en grandes cantidades por la colza durante su crecimiento (Martino y Ponce de León, 1999), sin embargo, es el nutriente que menos frecuentemente limita el rendimiento (Grant y Bailey, 1993). Los requerimientos de K por parte de la planta rondan los 65 kg Mg grano⁻¹ (Ciampitti y García, 2009). La adecuada disponibilidad de éste, confiere a la planta resistencia a enfermedades, insectos, sequías y heladas (Thomas, 1995), solo una porción de lo absorbido es exportado

en el grano (Grant y Bailey, 1993), por lo que la cosecha no provoca extracciones de importancia (Pouzet, citado por Ferreira y Ernst, 2014).

2.2.5. Comparaciones

El cultivo de colza es más exigente en requerimientos de nutrientes por kg de grano si se lo compara con los requerimientos de los cereales más utilizados en el país, pero cuando se analizan los requerimientos según rendimiento medio, estos son muy similares (Ciampitti y García, 2009). Para producir 1000 kg de grano por hectárea el cultivo de colza se necesitan absorber 60 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P, 65 kg ha⁻¹ de K y 12 kg ha⁻¹ de S, absorbe prácticamente la misma cantidad de N y S que un cultivo de trigo de 2000 kg ha⁻¹. Para P y K la colza absorbe cada 1000 kg ha⁻¹ de grano producido una cantidad muy similar a la de un cultivo de trigo que rinda 3000 kg ha⁻¹ (15 kg P ha⁻¹ y 57 kg K ha⁻¹).

Un cultivo de colza de 2000 kg ha⁻¹ extrae aproximadamente 76 kg ha⁻¹ de N, cantidad un poco inferior a la de un cultivo de trigo de 4000 kg ha⁻¹, el cual extrae 84 kg ha⁻¹ de N (Ciampitti y García, 2009). Para producir 2000 kg ha⁻¹ el cultivo de colza extrae 22 kg ha⁻¹ de P, 56 kg ha⁻¹ de K, 14 kg ha⁻¹ de S, cantidades superiores a las de un cultivo de trigo de 4000 kg ha⁻¹ el cual extrae 16 kg ha⁻¹ de P, 16 kg ha⁻¹ de K y 8 kg ha⁻¹ de S. Al relativizar los datos respecto a un cultivo de trigo, se observa que la colza demanda cantidades similares pero inferiores de N, superiores para P y S, muy superiores en el caso del K ya que un cultivo de colza de 2000 kg ha⁻¹ de grano extrae 40 kg ha⁻¹ más de K que el cultivo de trigo de 4000 kg ha⁻¹.

Por su parte Della Santa et al. (2018), trabajando en *B. carinata* encontraron valores de absorción en torno a 67 y 15 kg de N y S respectivamente por Mg de grano. Estos valores son levemente superiores a los indicados por el IPNI, de 60 y 12 kg de N y S requeridos por *Brassica napus* para producir una tonelada de grano.

2.3. NITRÓGENO Y AZUFRE EN LOS SUELOS DEL URUGUAY

El sistema agrícola actual, tiene como característica la ausencia de laboreo, acumulando años de agricultura continua sin pasturas desde hace más de 10 años (Ernst y Siri, 2011), otra característica es la alta predominancia del cultivo de soja, la cual ha reducido la variabilidad de cultivos antecesores (MGAP. DIEA, 2013), por lo que esta variable posiblemente haya perdido relevancia como determinante de la concentración de N-NO₃⁻ a la siembra. No obstante, la alta predominancia de soja en el sistema afecta el balance de N del suelo, ya que la

extracción como grano con la cosecha produce balances negativos de N en un cultivo que no recibe fertilización nitrogenada (Salvagiotti et al. 2008, Di Ciocco et al. 2011). Existen reportes que indican que el contenido de nitrógeno total en suelo (Ernst y Siri, 2009) y el potencial de mineralización de nitrógeno como indicador de aporte de N del suelo disminuyen consistentemente en sistemas de agricultura continua (Cozzoli et al., 2010), lo cual se reflejaría en mayor frecuencia de situaciones con necesidades de corregir el aporte de N al cultivo con fertilización nitrogenada.

En el caso particular del azufre, en el pasado superfosfato común fue una de las fuentes de P comúnmente utilizada a nivel país, como consecuencia los productores fertilizaron con azufre sin tener clara conciencia de ello, llegando incluso a corregir posibles deficiencias en cultivos y pasturas. Fuentes de P y N carentes de S como lo son superfosfato triple y urea, entre otros, son normalmente empleadas en el país, esta tendencia se ve acompañada de un aumento en los rendimientos de los cultivos que forman parte de la rotación, de esta manera el uso intensivo de los suelos determina mayores cantidades de S exportado en productos y perdido por lixiviación o erosión; b) la utilización creciente de fertilizantes fosfatados concentrados carentes de S en su composición ha conducido a una reducción significativa de las entradas de S a los sistemas productivos. Estos elementos tendrían su máxima expresión en suelos de textura más liviana y de bajo contenido de materia orgánica (Mazzilli et al., 2014). En los últimos años esto ha cambiado ya que el uso de fuentes con S aumentó de forma importante.

2.4. INTERACCIÓN ENTRE NITRÓGENO Y AZUFRE

Dada la estrecha relación existente entre N y S asociados al rol central en la producción de proteínas (Orlovius, 2003), es necesaria la complementación del N con adecuado suministro de S (Zamora y Massigoge, 2008). Para obtener una producción más elevada y estable del cultivo de colza es necesario que la nutrición nitrogenada sea acompañada con un contenido de S adecuado, el cual también mejoraría la eficiencia de uso del N (Zamora y Massigoge, 2008).

En estudios realizados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, cuando el nitrógeno se combinó con aplicaciones de azufre, las respuestas fueron lineales y positivas hasta niveles de 200 Kg N ha⁻¹, pero si la deficiencia de azufre no es reconocida o es mal interpretada como deficiencia de nitrógeno, y se incrementa la fertilización con nitrógeno, la respuesta es negativa (González Montaner y Di Napoli, 2009). Se debe tener en cuenta que la interacción entre estos nutrientes es sinérgica a dosis óptimas y antagónicas a niveles excesivos de uno de ellos (Fismes et al., 2000).

La severidad de las deficiencias de S estuvo directamente influenciada por la cantidad de nitrógeno aplicado, las plantas que no recibieron N no mostraron deficiencias aparentes de azufre, mientras que aquellas a las que se les fue suministrado, particularmente en altos niveles, presentaron síntomas que sugieren serios desórdenes fisiológicos (Janzen y Bettany, 1984). Los elevados requerimientos de N y S llevaron a la existencia de recomendaciones de manejo de nutrientes basadas en relaciones N/S en suelo de 7:1 (Grant y Bailey, 1993). Por otra parte, Agosti (2011) no encontró interacción N x S, esto posiblemente sea debido a que el testigo no haya sufrido limitantes de azufre gracias al aporte del suelo. Para las condiciones agroclimáticas del Uruguay, Ferreira y Ernst (2014) concluyeron que la tasa de dilución del S, resultante de la ecuación de regresión potencial, resultó menor a la del N durante el ciclo del cultivo estudiado ($b = -0.18$ y -0.36 para S y N respectivamente), lo que coincide con lo reportado por Reussi et al. (2012) para el cultivo de trigo. Esta dilución diferencial de ambos nutrientes generó una relación N/S variable entre 3.3 y 6.9, sin un patrón de comportamiento en relación a la acumulación de biomasa del cultivo, este aspecto condiciona el uso de esta relación como indicador del diagnóstico al igual que sucedió en trigo según Reussi et al. (2012).

2.5. FRACCIONAMIENTO Y MOMENTO DE APLICACIÓN

Para lograr una producción sostenible se requiere un eficiente suministro de este nutriente, lo que está relacionado no sólo con la dosis de fertilizante aplicado, sino con el momento en que está disponible para el cultivo (Sarandón et al., 1993). La práctica más utilizada para la aplicación de N es mediante la fertilización en la siembra. Sin embargo, debido a las pérdidas de $N-NO_3^-$ por lixiviación, es posible que la dosis aplicada no sea totalmente aprovechada por el cultivo en los estados de mayor requerimiento de este nutriente. Esto resulta de importancia considerando además el impacto ambiental de la lixiviación de N que ya constituye un serio problema en algunos países industrializados (Newbould, 1989), por lo que deben buscarse formas más eficientes de aplicación de fertilizante. La etapa crítica en la determinación del rendimiento, comienza entre dos y tres semanas antes de la floración (Tayo y Morgan, 1975) entre los estados de fin de roseta e inicios de floración. La aplicación fraccionada de la dosis de fertilizante nitrogenado, parte en la siembra y parte en el primero o en ambos estados mencionados, podría ser una alternativa para mejorar el rendimiento y la eficiencia de uso del N del cultivo de colza.

La importancia del momento de aplicación además de la dosis de fertilizante empleado ya ha sido señalada anteriormente (Sarandón et al., 1993). Cordeiro et al. (1993), encontraron mayores rendimientos cuando fraccionaron la aplicación de N $1/3$ a la siembra y $2/3$ a los 30 o 60 días de la emergencia, aunque

esto estuvo muy influenciado por las condiciones hídricas del suelo. Una alta disponibilidad de N previo al comienzo de la senescencia de las hojas podría determinar mayor área foliar y duración de la misma, garantizando una mayor provisión de asimilados, lo que se traduciría en el logro de un mayor número de silicuas y semillas por silicua. Sin embargo, las respuestas a la fertilización podrían ser dependientes del genotipo y de las condiciones ambientales. En este sentido, se considera que el efecto de la aplicación de N puede ser afectado por la ocurrencia de déficit hídricos durante el período crítico del cultivo, situado alrededor de la etapa de floración (Murphy y Pascale, 1989).

Cuando se menciona el fraccionamiento del S este no parece ser necesario, como lo demostraron Mazzilli y Hoffman (2010) los cuales concluyeron que el agregado de S a elongación cuando ya se agregó a la siembra, no solo no mostró respuesta, sino también una leve tendencia a la disminución del rendimiento. Coincidiendo con lo mencionado por Nuttall et al., citados por Planchón y Figares (2004), mencionan que la mayor respuesta en suelos pobres se obtiene agregando el a S a la siembra, sin embargo, estos autores agregan que es posible encontrar respuestas a la aplicación más tardía en suelos con buena disponibilidad de S inicial. Iriarte (2002) encontró respuesta a la fertilización azufrada en suelos con bajos contenidos de materia orgánica cuando los niveles de S-SO₄ a siembra fueron menores a 6 ppm. La dinámica de S en el suelo es muy similar a la del N, lo cual implica que las dificultades para predecir las dosis necesarias de N son igualmente válidas para el S (Martino y Ponce de León, 1999). Debido a esta dinámica, existe un fuerte componente ambiental en la respuesta a la fertilización fraccionada en colza, principalmente dependiente de las condiciones hídricas del año (Tamagno et al., 1999).

2.6. EFICIENCIA EN EL USO DE LOS NUTRIENTES

Existen distintas ineficiencias en el sistema suelo-planta que hacen que no todo el fertilizante aplicado sea absorbido por la planta. Distintos factores influyen sobre la mismas entre las que se encuentran: I) la movilidad del nutriente en el suelo, II) la demanda del cultivo durante el ciclo, III) el momento de aplicación, IV) la dosis y el fraccionamiento de la fertilización (Agosti, 2011).

La eficiencia agronómica (EAUN) describe una relación negativa en relación con el nivel de nitrógeno agregado. A medida que el N agregado aumenta, también aumenta el N absorbido, pero la eficiencia se reduce, teniendo un valor mínimo de 20 kg grano por kg N agregado ha⁻¹. En el caso del azufre, existe relación positiva entre el S agregado y el absorbido demostrando que, a mayor aporte de azufre, mayor absorción del mismo por parte de la planta (Della Santa et al., 2018).

Tamagno et al. (1999), reportaron que la eficiencia agronómica del nitrógeno para la producción de grano aumentó con el fraccionamiento de la fertilización (todo aplicado a la siembra vs. ½ a la siembra y ½ en C2) desde 5,63 hasta 11,35 kg grano por kg N agregado ha⁻¹.

Muchos datos de investigación han demostrado que existe una gran variación entre los valores de eficiencia del N aplicado como fertilizante en diferentes cultivos. Excesos hídricos, baja evapotranspiración y escasa absorción de N por parte del cultivo son condiciones que generan bajas EUN y por lo tanto un ambiente propicio para las pérdidas de N del sistema, probablemente por la vía de lixiviación (Barbieri et al., 2008)

2.7. CURVA DE DILUCIÓN E ÍNDICES DE ESTADO NUTRICIONAL

Las curvas de dilución son definidas por los niveles de concentración crítica del nutriente en la biomasa aérea durante todo o parte del ciclo del cultivo (Colnenne et al., 1998). En nitrógeno, esta concentración crítica ha sido definida como la mínima concentración de N requerida para lograr la máxima tasa de crecimiento del cultivo (Greenwood, 2001), y varía con la biomasa aérea producida, ya que se produce un efecto de dilución de N en la planta. Durante etapas tempranas de crecimiento el fenómeno de dilución del N es poco importante debido a la ausencia de competencia por luz entre plantas (Lemaire y Meynard, 1997). Existen reportes de esta dilución para varios cultivos, en colza invernal hasta valores de materia seca de 6,47 Mg ha⁻¹ (Colnenne et al., 1998) Quienes a su vez determinaron una curva de dilución de N en colza invernal válida para valores de acumulación de materia seca entre 1,43 y 6,47 Mg ha⁻¹, representada por la siguiente ecuación:

$$\% N_c = 4,48W^{-0,25}$$

Dónde: W es la cantidad de materia seca aérea total acumulada en un momento expresada en Mg ha⁻¹.

Varios autores han demostrado que la reducción en la tasa de crecimiento del cultivo es proporcional a la relación Na/Nc y han propuesto el uso de esta relación como un índice de nutrición nitrogenada (Justes et al. 1994, Colnenne et al. 1998), a partir del cual se puede predecir la respuesta del cultivo al agregado de N vía fertilizante.

El índice nutricional para nitrógeno (INN) es determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{INN} = N_{\text{act}} / N_{\text{c}}$$

Donde N_{act} corresponde a la concentración de N determinada en la biomasa y N_{c} al nitrógeno crítico estimado a partir de la curva de dilución.

Para determinar el índice de nutrición azufrada (INS) se aplica la misma metodología

$$\text{INS} = S_{\text{act}} / S_{\text{critico}}$$

Para una situación dada y en cualquier momento del período de crecimiento del cultivo, es posible determinar un índice de nutrición nitrogenada (INN) como la relación entre la concentración actual de N y la concentración crítica de N, correspondiente a la masa real del cultivo (Lemaire et al., 2008). Los valores de INN próximos a 1 indican que en la fecha de la determinación del porcentaje N actual el cultivo está en situación de suministro de N no limitante. Valores mayores a 1 indican un consumo de lujo de N, valores por debajo indican deficiencia de N. El grado de deficiencia se puede determinar mediante el valor del INN (Lemaire et al., 2008). El INN es un indicador de estado nutricional del cultivo para el momento en el que es determinada la biomasa acumulada y su concentración respectiva de N, Lemaire et al. (2008), han encontrado que un cambio en INN durante el período vegetativo, en el cual se genera el potencial productivo, tiene incidencia en el número de granos, y por lo tanto en el rendimiento.

Ferreira y Ernst (2014) hallaron a partir de sus ecuaciones que el índice crítico de nutrición azufrada fue de 0,88 y 0,74 en el estadio de C1 para la máxima producción de biomasa y producción de grano respectivamente, para N se encontró valor un crítico de 1,04 en el estadio de C1 para la máxima producción de biomasa. Para la producción de grano se observó que bajo condición de S suficiente no existió limitante de N en planta en todo el rango de estado nutricional estudiado y, en cambio, bajo condición de azufre limitante la respuesta del rendimiento al estado nutricional nitrogenado fue lineal.

2.8. RENDIMIENTO POTENCIAL Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

El rendimiento medio de colza en los últimos 5 años en el Uruguay es de 1340 kg ha⁻¹, siendo este valor inferior al promedio a nivel mundial el cual se ubica en los 1720 kg ha⁻¹ para la serie de años 2000-2009 (Rondanini et al., 2012). A su vez estos rendimientos son bastante inferiores al potencial de la especie el cual se ubica cercano a los 5000 kg ha⁻¹ (Gómez y Miralles, 2006).

Si bien durante todo el ciclo del cultivo se van generando componentes numéricos y fisiológicos del rendimiento, es posible identificar una ventana crítica (periodo crítico) para la generación de rendimiento donde una disminución de los recursos (agua, nutrientes, y radiación) o algún estrés, producirá una importante reducción del rendimiento final del cultivo (Mingeau, citado por Agosti, 2011). El periodo de floración es el periodo más crítico para la formación del rendimiento, dentro del mismo el periodo más crítico tiene lugar alrededor de las tres cuartas partes del periodo de floración (Kirkegaard et al., 2018)

Un modelo simple de generación del rendimiento en grano, asume que este es el producto de la biomasa total generada por el cultivo y el índice de cosecha (IC), siendo este el atributo que más limita el rendimiento en colza (Diepenbrock, citado por Agosti, 2011). Por lo tanto, futuros incrementos en rendimiento deberían, posiblemente, estar ligados a incrementos en el IC (Agosti, 2011). Según Diepenbrock y Grosse, citados por Agosti (2011) la generación del rendimiento se puede analizar a través de los componentes numéricos del mismo, dividiéndose en: número de plantas m^2 , silicuas por planta, granos por silicua y peso de grano. Los tres primeros componentes, en su conjunto determinan el número de granos m^2 .

El número de granos m^2 es el componente numérico del rendimiento más importante y el peso de grano el más estable frente a modificaciones del ambiente (Peltonen-Saino y Jauhiainen, 2008). En los trabajos que observaron incrementos del rendimiento por agregado de N, el componente que mejor explicó las diferencias en rendimiento fue el número de granos (NG) por unidad de superficie, explicado por aumentos en el número de silicuas $planta^{-1}$ (Allen y Morgan 1972, Scott et al. 1973, Asare y Scarisbrick 1995, Hocking et al. 1997a, Cheema et al. 2001).

Para *Brassica carinata*, en ensayos experimentales llevados adelante en INTA Argentina, en el año 2012 reportaron un rendimiento promedio de los ensayos de 2433 kg ha^{-1} . Los rendimientos en ensayos experimentales realizados por INIA en Uruguay tuvieron un rendimiento medio de 4000 kg ha^{-1} en cuatro años de evaluación, con un máximo de 5100 y un mínimo de 2800 kg ha^{-1} para el año 2015 y 2014 respectivamente (Castro, 2018). Della Santa et al. (2018), obtuvieron un rendimiento medio de 2258 kg ha^{-1} , generando 4375 silicuas m^2 , obteniendo un promedio de 63230 granos m^2 .

2.9. HIPÓTESIS

La hipótesis agronómica es que los índices de nutrición nitrogenada y azufrada generados para *Brassica napus*, predicen la respuesta a la fertilización en este cultivo a inicio de elongación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

Para el presente trabajo se instaló un ensayo durante el invierno del 2018, en un predio llamado “Las Cumbres” ubicado en el departamento de Paysandú latitud 32°16'56.72"S, longitud 57°57'7.81"O (Figura No. 1).



Figura No. 1. Ubicación de ensayos

Cuadro No. 1. Descripción del sitio

Sitio	Fecha de siembra	Formación	Unidad	Tipo de suelo	Grupo CONEAT
Las Cumbres	6-jun.	Fray Bentos	Young	Brunosol éútrico típico	11.4

El ensayo fue instalado sobre un suelo cuyo potencial de producción es superior a la media nacional, tratándose de Brunosoles, con alto contenido de materia orgánica, perfil tipo A/Bt/Cca, alta saturación en bases, texturas medias a pesadas y drenaje moderado a bueno. Todas características que favorecen el desarrollo del cultivo.

3.2. TRATAMIENTOS APLICADOS

La primera fertilización se realizó a la siembra, con el objetivo de que tanto fósforo y potasio no sean limitantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo, las dosis fueron de 40 y 60 kg por hectárea de P₂O₅ y K₂O respectivamente, de esta manera se pueden atribuir las variaciones del rendimiento a las distintas combinaciones de nitrógeno y azufre entre tratamientos. En lo que respecta a nitrógeno y azufre se realizaron ocho tratamientos con diferentes combinaciones de dosis de ambos nutrientes, la dosis a aplicar en cada tratamiento se fraccionó a estadio B3 (instalación) y C1 (inicio de elongación), el fraccionamiento se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 2. Tratamientos

Tratamientos	Instalación		C1		TOTAL	
	N	S	N	S	N	S
1) N0-N0-S0-S0	0	0	0	0	0	0
2) N20-N20-S0-S0	20	0	20	0	40	0
3) N20-N20-S20-S0	20	20	20	0	40	20
4) N20-N60-S20-S0	20	20	60	0	80	20
5) N20-N60-S20-S10	20	20	60	10	80	30
6) N80-N20-S20-S10	80	20	20	10	100	30
7) N40-N120-S30-S0	40	30	120	0	160	30
8) N40-N80-S30-S0	40	30	80	0	120	30

3.3. MUESTREO DE SUELOS

El muestreo de suelo se realizó al momento de la instalación y previo a la fertilización. Se tomaron 2 muestras en cada bloque, a dos profundidades 0-20 y 20-40 cm cada una de estas compuesta por un total de al menos 32 piques. Las muestras recolectadas se secaron a 40 °C durante 48 hs. y se enviaron a laboratorio para conocer la disponibilidad de N-NO₃ y %MO a la siembra (Cuadro No. 3).

Cuadro No. 3. Resultados análisis de suelo al momento de instalar los experimentos

Lugar	Bloque	ppm N-NO ₃ siembra (0-20cm)	ppm N-NO ₃ siembra (20-40cm)	% MO
Las Cumbres	1	13,83	10,59	6,27
Las Cumbres	2	16,92	11,83	6,91
Las Cumbres	3	28,66	12,22	6,32

3.4. MUESTREO DE BIOMASA Y RENDIMIENTO

En cada uno de los tratamientos se realizaron 3 determinaciones de biomasa: en el estadio fenológico C1 (previo al segundo momento de fertilización), en floración plena (F2) y cosecha. Se cortó con tijera 1 metro lineal, 2 surcos en cada uno de los tratamientos (0,76 m²), contabilizando en cada caso el número de plantas. A cosecha el procedimiento fue el mismo variando en este caso los metros cosechados (4 metros lineales – 1,52 m²), y además se contabilizó el número total de silicuas lo que permitió estimar el número por unidad de superficie. La totalidad de las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C hasta masa constante, y almacenadas en bolsa de arpillera y hasta su procesamiento.

En los diferentes estadios (C1, floración y cosecha) la muestra de biomasa fue empleada para determinar la acumulación de biomasa y la concentración de N y S, y por tanto estimar la absorción de N y S en cada tratamiento. Para obtener el rendimiento de cada parcela, se realizó cosecha manual, donde cada muestra se colocó en un recipiente de plástico, en el cual se procedió al pisado para su desgrane, luego se tamizó, mediante máquina de viento y filtros se eliminaron las impurezas de cada muestra, pesándose luego

para calcular el rendimiento por unidad de superficie para cada parcela, se analizó de forma separada el contenido de N y S en grano del ubicado en la biomasa. El % N se determinó por el método Kjeldhal y el contenido de S mediante combustión a 1350 °C y posterior detección de SO₂ por infrarrojo.

Los componentes del rendimiento estudiados fueron peso de grano y silicuas por unidad de superficie. Con esa información y fue posible estimar el número de granos y las silicuas por unidad de superficie, las silicuas por planta y el número de granos por silicua. Por último, el índice de cosecha de grano se calculó como la relación entre el rendimiento en grano y la biomasa aérea total para cada tratamiento.

Los granos fueron utilizados para estimar (en el laboratorio de calidad de granos INIA) el % de materia grasa, la determinación fue realizada a través del método indirecto. Se realizó la determinación de contenido de materia grasa (%) en grano para cada parcela, y multiplicado por el rendimiento en grano, se logra estimar el rendimiento en aceite (kg ha⁻¹).

3.5. EFICIENCIA EN EL USO DE LOS NUTRIENTES

Se calcularon diferentes eficiencias tanto para nitrógeno como para azufre. Conociendo el valor de N del análisis de suelo para la profundidad de 0 a 20 cm se calcularon los kg disponibles de este nutrientes en dicho horizonte, para el cálculo se consideró una densidad aparente de 1,25 g cm⁻³, siendo este el promedio para los suelos del Uruguay.

El cálculo para obtener la disponibilidad de nutriente es el siguiente

Volumen de 1 ha: 100 m x 100 m x 0,20 m= 2000 m³

Dap: 1, 25 g/cm⁻³ x 1000= 1250 kg/m⁻³

Peso de 1 ha: 2000 m³ x 1250 kg/m⁻³= 2.500.000 kg

1 ppm N equivale a 1 kg de N cada 1.000.000 kg de suelo

2.500.000 kg /1.000.000 kg = 2,5

Por lo tanto, al multiplicar el dato de análisis de suelo por 2,5 se obtiene la cantidad de N disponible por hectárea cuando la profundidad considerada es de 0 a 20 cm.

Se estiman aportes por mineralización, a partir del dato de materia orgánica del suelo se calcula el volumen de la fracción humus del suelo, a su vez se utiliza el supuesto de que el 58% de la materia orgánica es carbono (C), y que la relación C/N es 10. De la fracción nitrógeno orgánico se calcula el 2% como aporte o liberación anual de nitrógeno disponible para el cultivo proveniente de la degradación microbiana. No se consideran aportes de nitrógeno provenientes de la degradación del rastrojo del cultivo antecesor.

Las eficiencias determinadas fueron:

- Eficiencia agronómica de uso de nitrógeno (EAUN= (rendimiento parcela – rendimiento testigo) / kg de N disponible).
- Eficiencia de uso de nitrógeno (EUN= rendimiento parcela – rendimiento testigo / UN agregado).

Eficiencia de recuperación de nitrógeno y azufre, esta se calcula como el diferencial del nutriente absorbido por la parcela (nutriente absorbido en biomasa + nutriente absorbido en grano) y el absorbido por el testigo, en relación a la dosis del nutriente agregado.

3.6. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL EXPERIMENTO

Para describir estadísticamente el experimento se eligió el diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), con 8 tratamientos y 3 repeticiones. Cada tratamiento fue representado por una parcela de 10 m de largo y 3 m de ancho.

Diseño experimental: bloques completos al azar (DBCA)

Modelo: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + p_j + \epsilon_{ij}$

Donde,

Y_{ij} = variable aleatoria observada (kg ha^{-1}).

μ = media general "conceptual".

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

p_j = efecto del j-ésimo bloque.

ϵ_{ij} = variable aleatoria no observada, error experimental.

Siendo,

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.$

$j = 1, 2, 3.$

Supuestos del modelo:

ε_{ij} = variables independientes e idénticamente distribuidas (IID), se distribuye normalmente.

H_0 = todos los tratamientos son iguales $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_6 = t_7 = t_8.$

H_a = existe al menos una diferencia entre tratamientos.

Se realizaron diferentes descripciones estadísticas (media, máximo, mínimo, coeficiente de variación) para las variables rendimiento, biomasa, índice de cosecha, materia grasa. Además, para los componentes numéricos se le realizó también las mismas descripciones estadísticas. El efecto de los tratamientos se evaluó a través de análisis de varianza y además se evaluó el efecto tratamiento mediante la prueba de LDS Fisher con un nivel de significancia de 0,05. Finalmente se estudiaron regresiones entre las variables y se analizaron a partir de análisis de varianza de la regresión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

4.1.1. Precipitaciones

La zafra invernal del 2018 (comprendida por los meses de junio a noviembre) se caracterizó por poseer un régimen de precipitaciones entorno 440 mm. Aguirre y Uriarte (2010) sostienen que el cultivo puede consumir entre 400 y 500 mm en situaciones hídricas favorables, por lo que el total de precipitaciones podría calificarse como no limitante para el cultivo.

No obstante, al analizar las precipitaciones mensuales se observa una importante irregularidad de estas durante el ciclo del cultivo. La siembra planificada para el mes de mayo (fecha óptima) fue retrasada, debido a las lluvias acaecidas en dicho mes, en cambio, durante el mes de junio, el cual corresponde al momento de siembra, las precipitaciones escasearon, con un acumulado en torno a los 5 mm. Tanto el desarrollo como el crecimiento inicial del cultivo no se vieron afectados por deficiencias hídricas, debido a que durante el barbecho (mayo) las precipitaciones acumuladas superaron los 150 mm. Durante los meses de julio y agosto que abarcan los periodos de C1 a inicios de floración no existieron problemas hídricos ya que en ese lapso las precipitaciones fueron de aproximadamente 180 mm. El periodo con menos aporte de precipitaciones fue en floración y llenado de grano donde las precipitaciones fueron menores que en otros estadios, aunque, de igual manera se situaron en torno a los 40 mm y contando con el régimen previo de precipitaciones se presume que las condiciones no afectaron el normal desarrollo del cultivo, ni que hubiera un efecto diferencial por parte de los polinizadores sobre los diferentes tratamientos (Mazzilli et al., 2020).

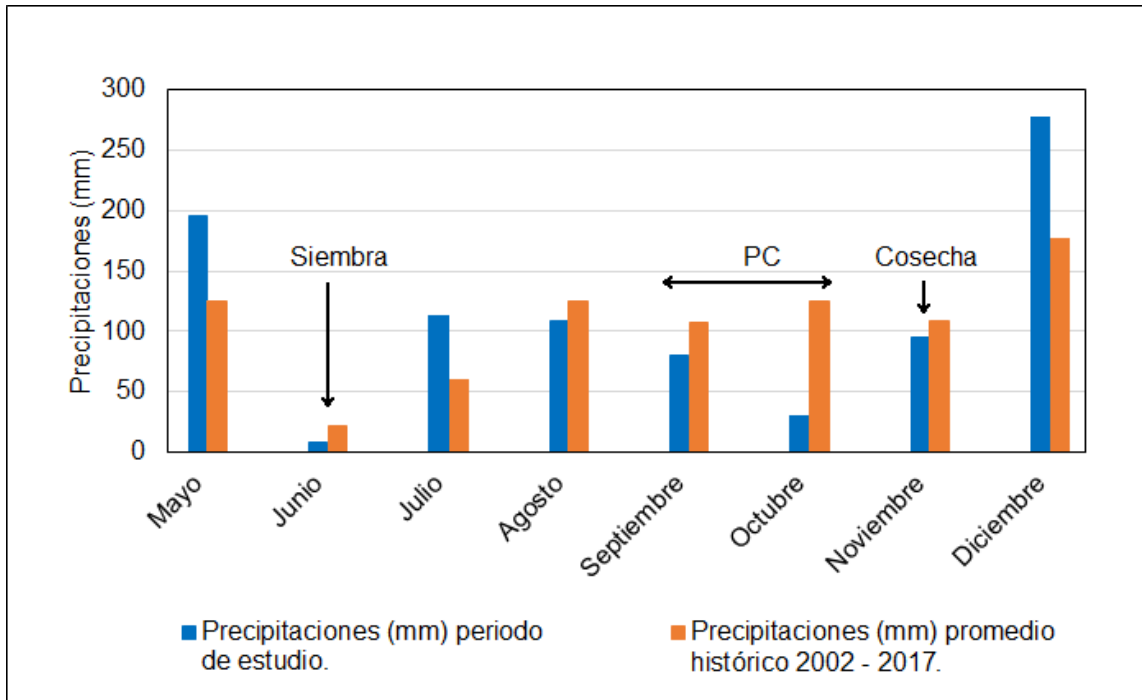


Figura No. 2. Precipitaciones mensuales acumuladas promedio para el año 2018 con relación a la serie histórica 2002-2017 para Paysandú

4.1.2. Temperatura

En cuanto a la temperatura media registrada, se observa una mayor temperatura en los meses de primavera, mientras que en el invierno las medias fueron más bajas en comparación con la serie histórica 2002-2017 (Figura No. 3). Según Si y Walton, citados por Agosti (2011) la temperatura media y las precipitaciones en post-floración serían los factores ambientales de mayor influencia sobre las variables de rendimiento y calidad de grano, determinando que cuando el llenado de grano ocurre a bajas temperaturas medias (en el rango de 12 a 18 °C), se obtiene un mayor rendimiento. Para el caso de este trabajo en los meses de setiembre, octubre y noviembre se registraron temperaturas medias mayores al rango determinado lo que indica condiciones menos favorables para el cultivo desde el punto de vista térmico.

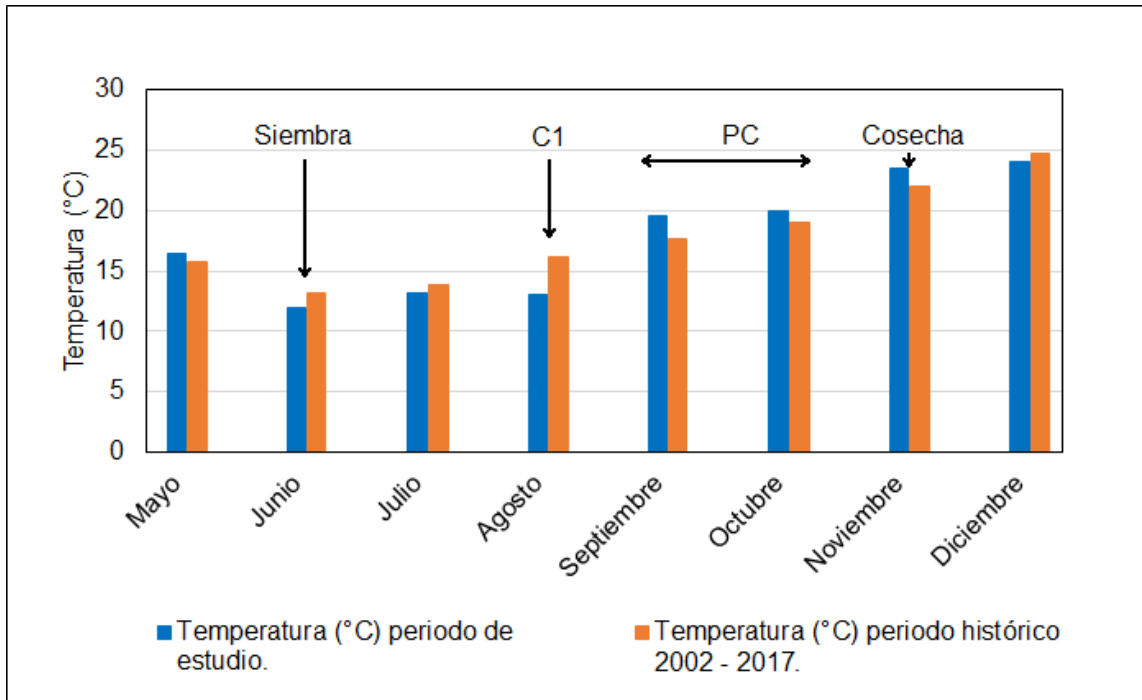


Figura No. 3. Temperatura media mensual promedio para el año 2018 en relación a la serie histórica 2002-2017 para la localidad de Paysandú

La información presentada permite concluir que para el ciclo del cultivo en el año 2018 la curva de temperatura tuvo un comportamiento similar a la serie histórica. La temperatura promedio fue de 15,2 °C, siendo casi idéntica al promedio para la serie histórica (15,0 °C). Con respecto a las precipitaciones, las acumuladas durante los ensayos fueron inferiores a la serie histórica (437 mm y 530 mm respectivamente), siendo a priori no limitantes para el cultivo.

4.2. ANÁLISIS DE ENSAYOS

En este capítulo se analizarán los datos obtenidos en el ensayo. Los efectos de los nutrientes N y S en el crecimiento y el rendimiento del cultivo, la interacción entre ellos, las eficiencias logradas por tratamiento y los componentes del rendimiento. El rendimiento medio fue 1.772 kg ha⁻¹, en general los rendimientos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura No. 4), salvo la comparación entre el tratamiento 3 (N20-N20-S20-S0) y el testigo (N0-N0-S0-S0). No se diferenció el rendimiento según los diferentes aportes de N y S, lo cual parece estar ligado a los aportes de N del suelo en instalación (Cuadro No. 3).

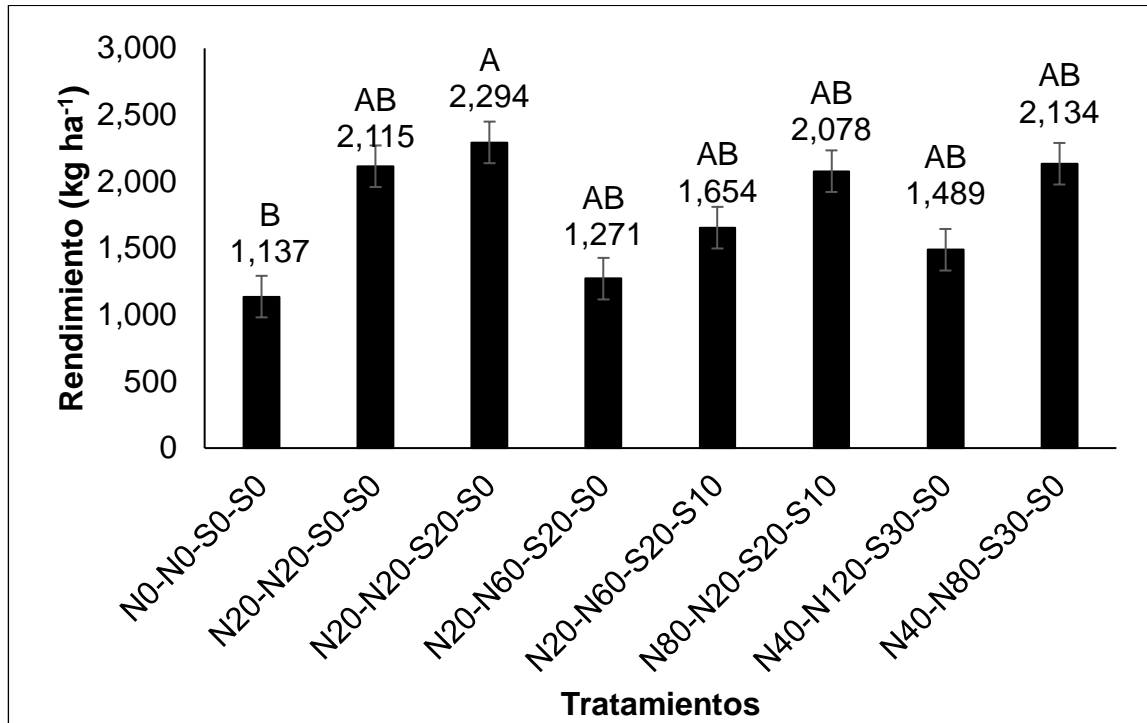


Figura No. 4. Rendimiento y error estándar por tratamiento

4.2.1. Dinámica de la población y su efecto en el rendimiento

Analizando el componente del rendimiento número de plantas por m⁻² en los estadios C1, floración y cosecha (Figura No. 5), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para ningunos de los momentos de evaluación (C1, floración y cosecha). Sin embargo, existieron disminuciones en el número de plantas m⁻² que se asocian a la dinámica natural de plantas (competencia intraespecífica) y no al tratamiento aplicado. En general la población disminuyó un 38% en el periodo que va desde C1 a cosecha, siendo 20% la disminución comprendida en el periodo C1-floración, y un 23% en el periodo floración-cosecha. El experimento tuvo un comportamiento similar al descrito en el trabajo realizado por Geisler y Stoy (1987), en el mismo se evaluaron diferentes poblaciones y se mostraron las variaciones de esta durante el ciclo del cultivo, ellos encontraron que a bajas poblaciones (< a 10 plantas m⁻²) la población no disminuyó hasta la cosecha, con una densidad de 45 plantas m⁻² la población disminuyó en torno al 10%, con 80 plantas m⁻² se perdió un 20% de las plantas, mientras que a 185 plantas m⁻² la tasa de pérdida se incrementó al 50%.

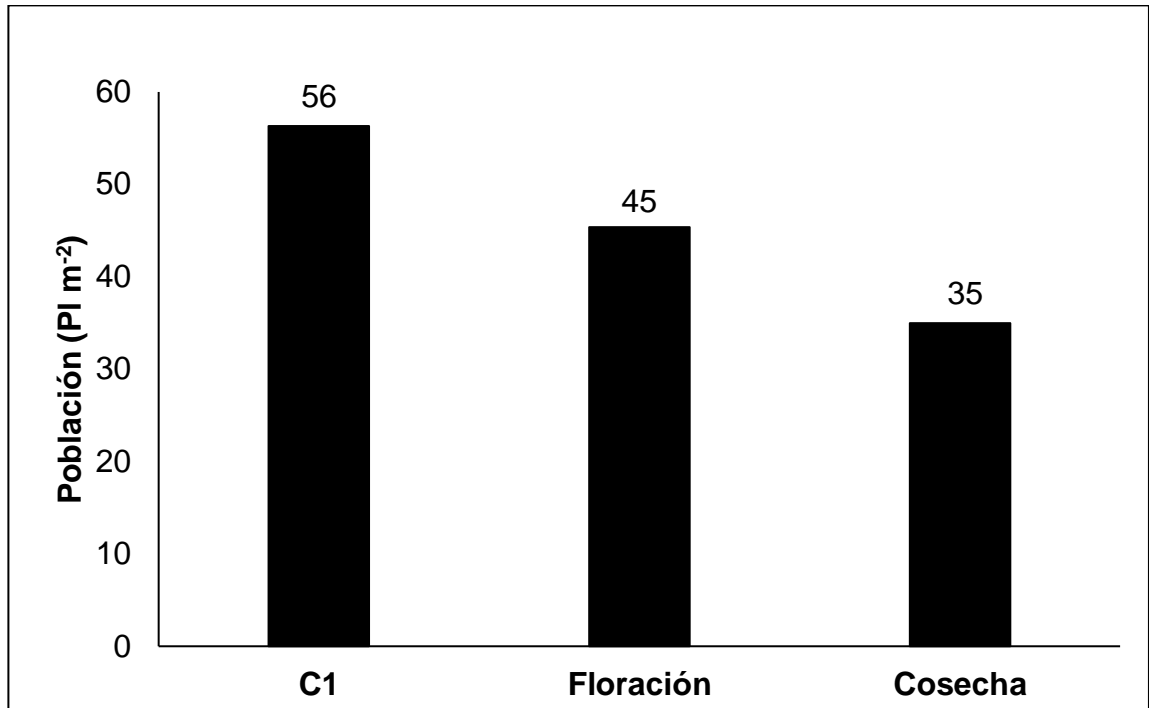


Figura No. 5. Población de plantas por unidad de superficie según estadios del cultivo

En el experimento se obtuvieron poblaciones a cosecha que van desde las 18 a 44 plantas m⁻² (Figura No. 6), en dicho rango no se logró observar un efecto claro sobre el rendimiento. Resultados similares encontraron Mazzilli et al. (2014), al intentar identificar la existencia de una relación entre el rendimiento según población lograda para las zafas 2011, 2012 y 2013 los resultados generales indicaron que para los materiales evaluados (primaverales) sin importar el ciclo, no existió asociación entre la población lograda y el rendimiento en grano para un rango de poblaciones de 20 a 70 pl m⁻².

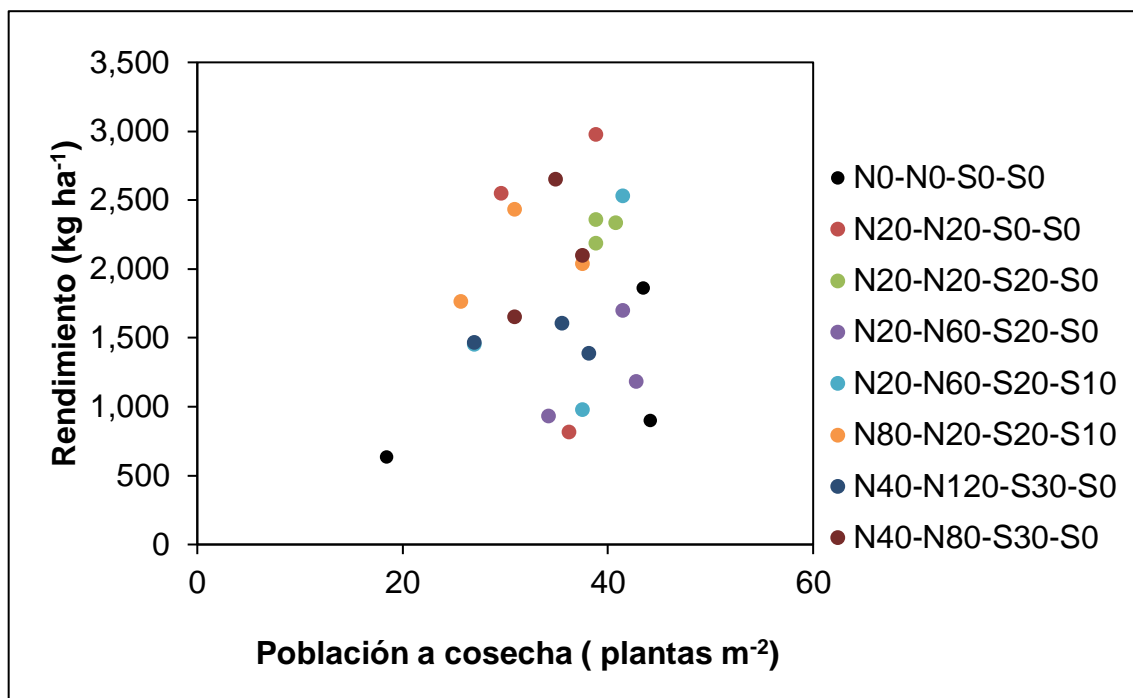


Figura No. 6. Relación entre población a cosecha y rendimiento en grano

Tanto la materia grasa como el peso de grano presentaron muy poca variabilidad, siendo para ambas variables el coeficiente de variación menor al 10%. Sin embargo, para los componentes del rendimiento granos m⁻² y silicuas por m⁻² el valor de dicho coeficiente fue de aproximados 39% y 28% respectivamente, indicando una relación directa con el rendimiento cuya variación fue del 34% (Cuadro No. 4).

Cuadro No. 4. Rendimiento en grano y componentes del rendimiento

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Biomasa (kg MS ha ⁻¹)	IC	Materia grasa (%)	Población a cosecha (pl m ⁻²)	Peso grano (mg)	No. granos m ⁻²	No. de silicuas m ⁻²	No. granos silicua ⁻¹	No. granos planta ⁻¹
N0-S0-N0-S0	1.137	9.035	0,13	46	35	3,0	37.571	4.719	9,4	1.084
N20-S0-N20-S0	2.115	11.140	0,18	48	35	3,3	65.529	6.664	10,8	1.906
N20-S20-N20-S0	2.294	11.425	0,20	45	39	3,3	69.550	5.232	13,4	1.763
N20-S20-N60-S0	1.271	9.638	0,13	43	39	3,5	36.753	6.420	5,7	922
N20-S20-N60-S10	1.654	9.825	0,16	42	35	2,9	61.545	5.604	10,9	1.708
N80-S20-N20-S10	2.078	11.140	0,19	43	31	3,2	65.674	5.430	12,2	2.095
N40-S30-N120-S0	1.489	7.971	0,19	42	34	3,0	49.974	5.458	9,2	1.525
N40-S30-N80-S0	2.134	10.296	0,21	44	34	3,1	69.228	7.542	9,3	2.007
p-valor	0,202	0,590	0,065	0,397	0,843	0,213	0,387	0,508	0,541	0,142
% C.V	34	23	19	7	20	8	39	28	42	33
M.D.S	1.041	7.935	0,06	5	12	0,5	38.445	2.846	7,4	933
Media	1.772	10.059	0,17	44	35	3,1	56.978	5.230	9,0	1.626

El peso medio de grano fue de 3,2 mg, variando entre 2,9 y 3,5 mg, valores inferiores a los reportados por Della Santa et al. (2018), cuyo promedio fue de 3,7 mg. Este hecho puede explicarse por el menor número de grano disponible para llenar con respecto a este experimento. El peso de grano en el experimento fue estable, ya que para la especie *Brassica carinata* se espera un rango entre 2,9 y 3,2 gr (Seepaul et al., 2016). En cuanto al índice de cosecha, se obtuvo un promedio de 0,17 el cual es muy inferior al promedio de 0,35 que reportaron Gesch et al. (2015), y también inferior al promedio de 0,25 reportado por Della Santa et al. (2018) para las condiciones locales.

El rendimiento estuvo fuertemente asociado al número de granos m⁻² (Figura No. 7), siendo el componente que mejor explica los cambios en rendimiento, a su vez el número de grano m⁻² presentó un coeficiente de variación de 39% y una mínima diferencia significativa elevada por la cual no se lograron identificar diferencias entre tratamientos, esto nos lleva a pensar que parte del efecto del error ambiental esté explicado por el nivel de nitrógeno en suelo de cada bloque a la siembra (Cuadro No. 3), el cual pudo llegar a afectar de manera diferencial a los tratamientos según el bloque, es decir ciertos tratamientos en determinado bloque pudieron llegar a sufrir exceso de N con vuelco de plantas, no siendo así en los demás bloques, contrastando con otro tratamiento que pudo no haber sufrido exceso de N en ningún bloque debido al propio efecto tratamiento.

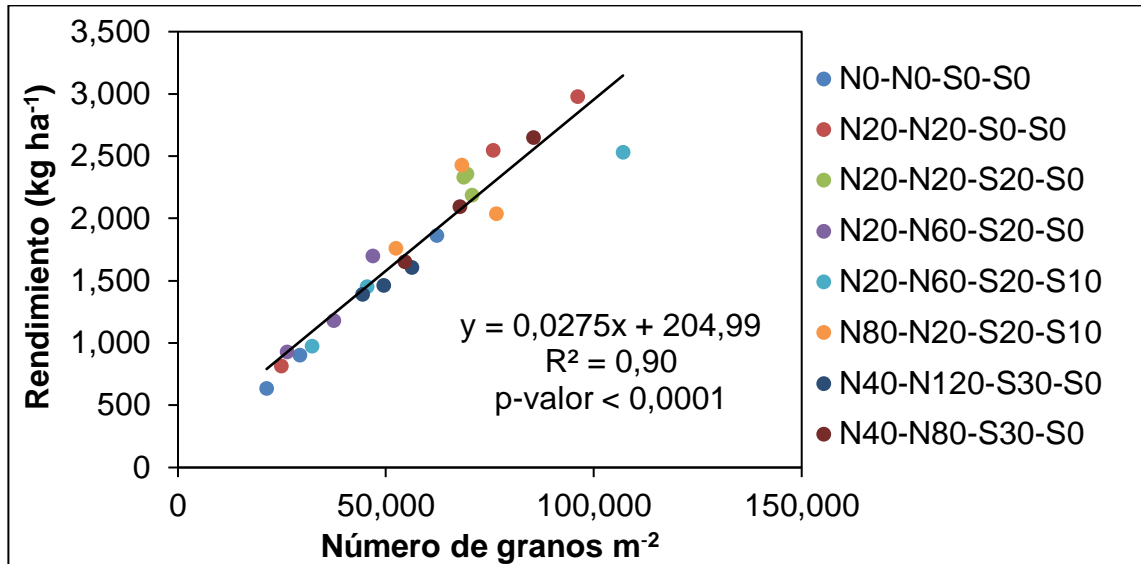


Figura No. 7. Relación entre el rendimiento en grano y el número de granos por unidad de superficie

En cuanto a rendimiento y peso de grano (Figura No. 8), no se encontró asociación directa entre las variables, el comportamiento del peso de grano fue estable con una media de 3,2 gramos, un valor similar a los 2,9 y 3,2 gramos reportados por Seepaul et al. (2016). En cambio, para las condiciones locales los resultados de este experimento resultaron inferiores, ya que en el trabajo realizado por López y Verocai (2016), reportan una media de 3,5 gramos en colza, y lo mismo ocurre al comparar con el trabajo presentado por Della Santa et al. (2018), quienes obtuvieron un peso de grano promedio de 3,7 gramos en carinata.

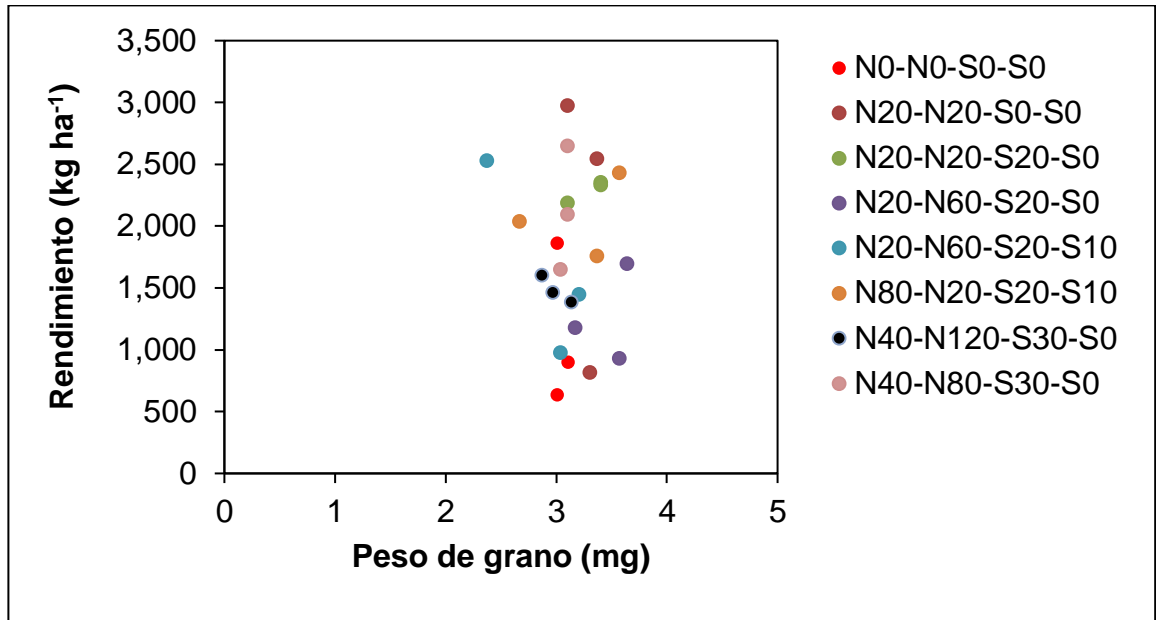
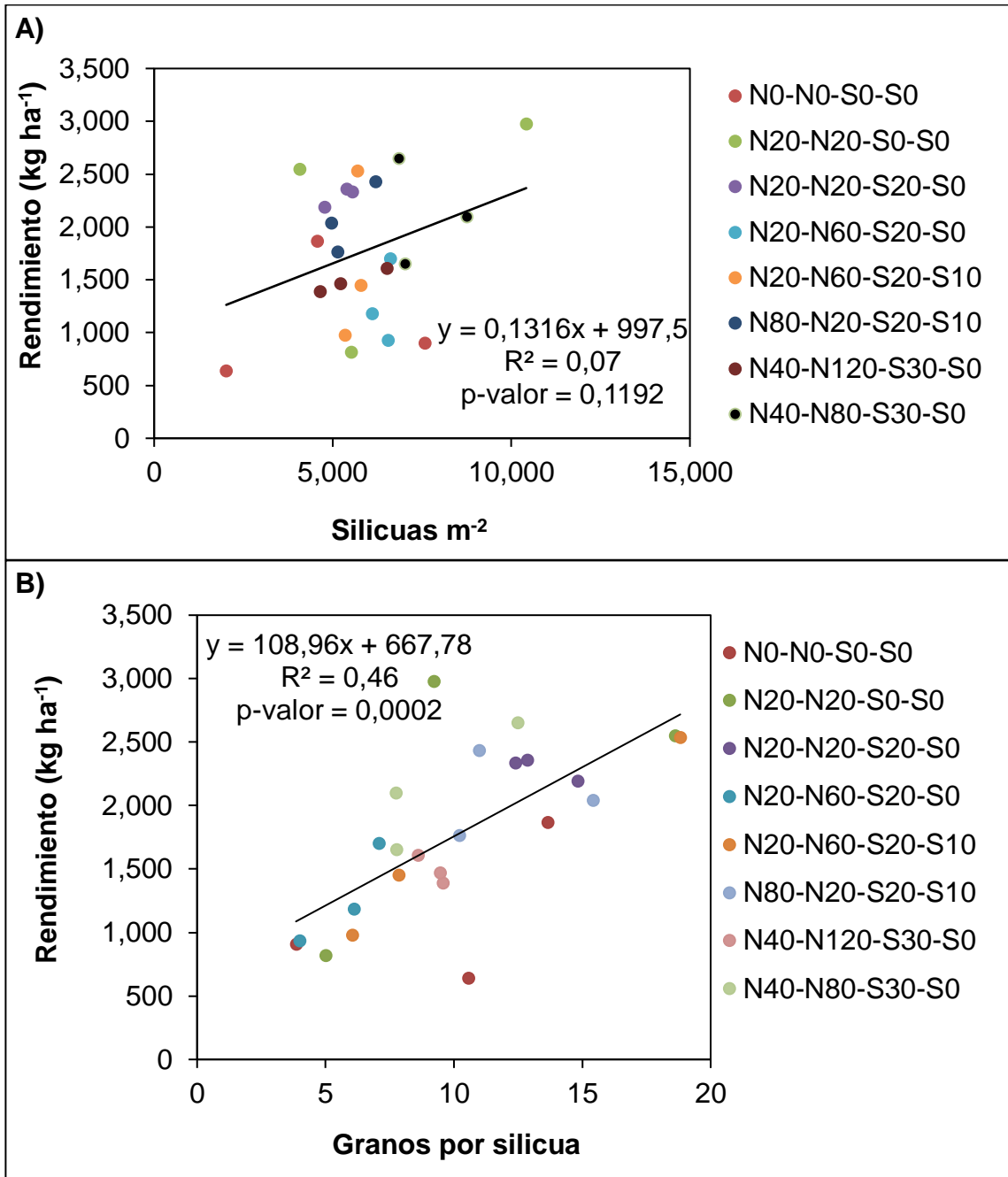


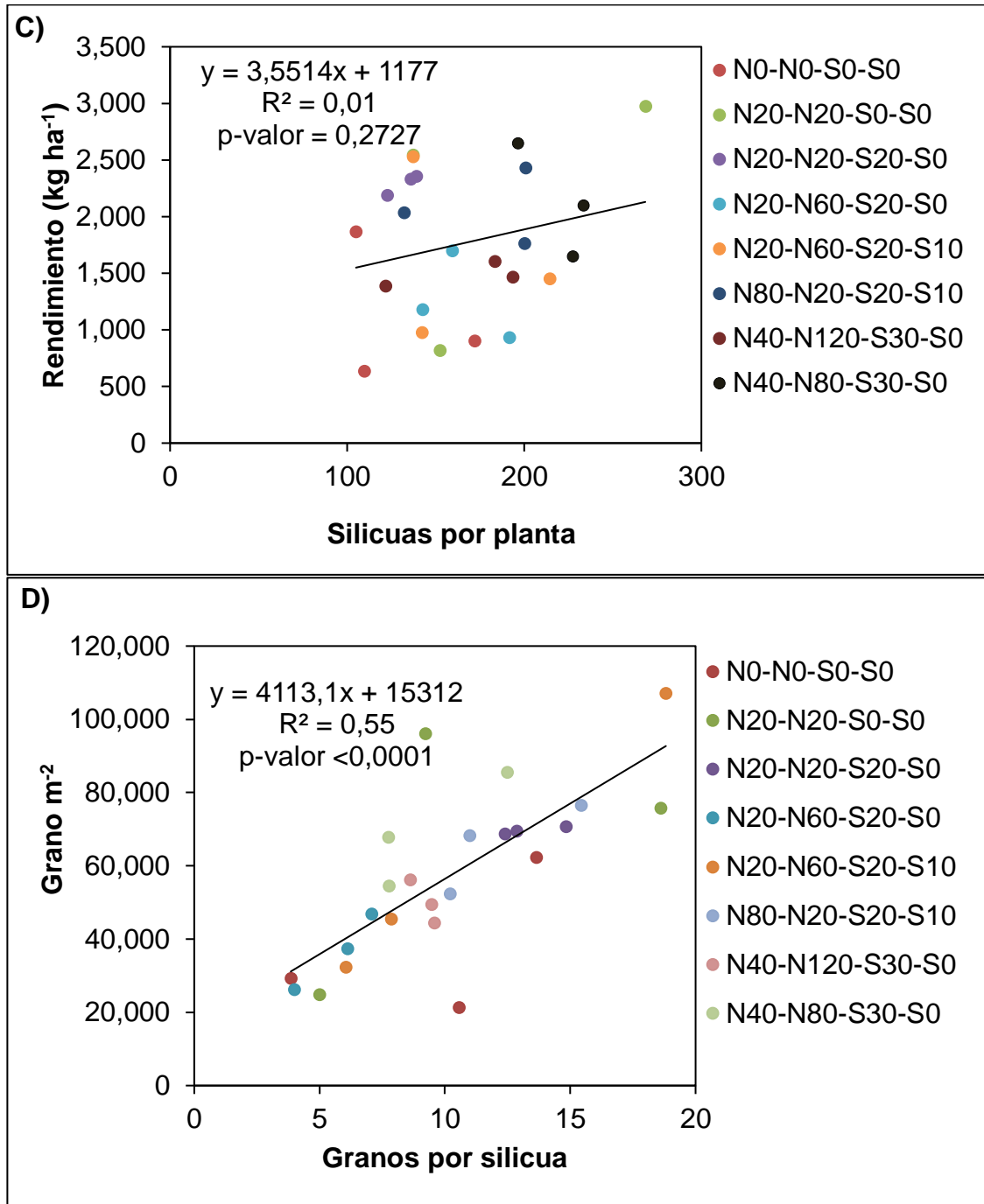
Figura No. 8. Relación entre rendimiento en grano y el peso grano

El número de silicuas m⁻² no se asoció directamente al rendimiento (Figura No. 9A). Respecto a la relación entre granos por silicua y rendimiento, se encontró una correlación del 46% (Figura No. 9B), esta correlación no existió en los trabajos presentados tanto por López y Verocai (2016), como por Della Santa et al. (2018). En este experimento un mayor rendimiento fue resultado de un mayor número de granos m⁻² (Figura No. 7), siendo este componente correlacionado al número de granos por silicua (Figura No. 10D).



A) Relación entre rendimiento y silicuas por unidad de superficie, B) relación entre rendimiento y granos por silicua.

Figura No. 9. Componentes del rendimiento 1



C) Relación entre rendimiento y silicuas por planta, D) relación entre número de grano y granos por silicua.

Figura No. 10. Componentes del rendimiento 2

Por otro lado, se observó una relación lineal positiva entre la biomasa total acumulada a cosecha y el rendimiento (Figura No. 11). El promedio de biomasa del experimento fue de 10.059 kg MS ha⁻¹, una media muy similar a la reportada por Della Santa et al. (2018), quienes obtuvieron una media de 9857 y 10883 kg MS ha⁻¹ en sus dos ensayos.

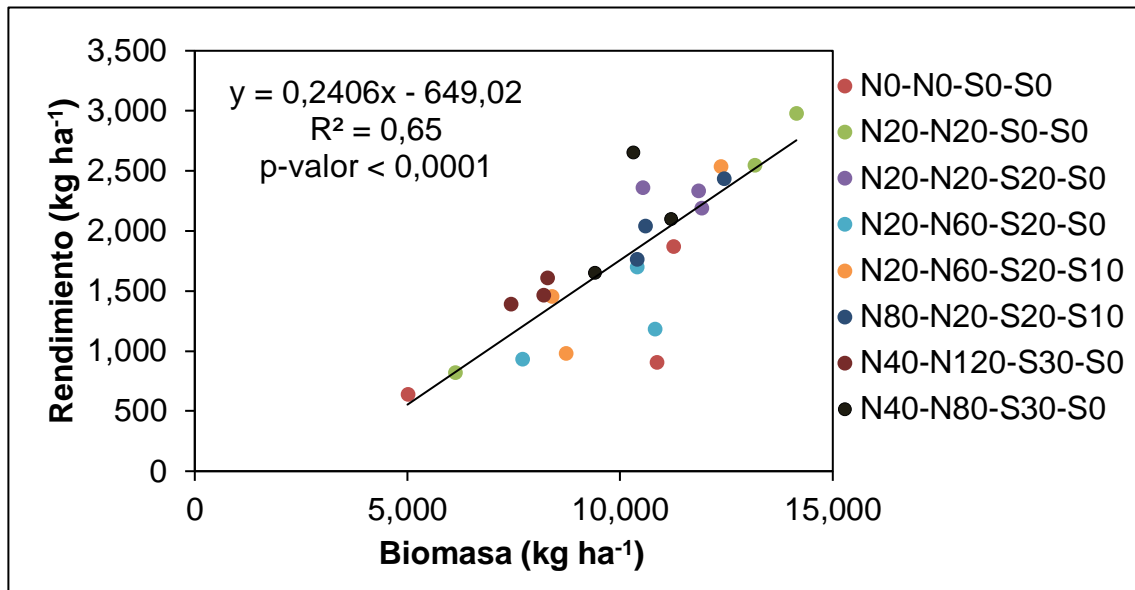


Figura No. 11. Rendimiento en grano, en función de la biomasa total acumulada a cosecha

En cuanto al índice de cosecha (Figura No. 12) se pudo observar una correlación con el rendimiento, lo que difiere a lo presentado por Della Santa et al. (2018), quienes indican estabilidad en el índice de cosecha en un rango que va desde 0,19 a 0,29 con una media de 0,25 independientemente del rendimiento obtenido, en el experimento se obtuvo un índice de cosecha también estable que va desde 0,13 a 0,21 con una media de 0,17 pero correlacionado al rendimiento.

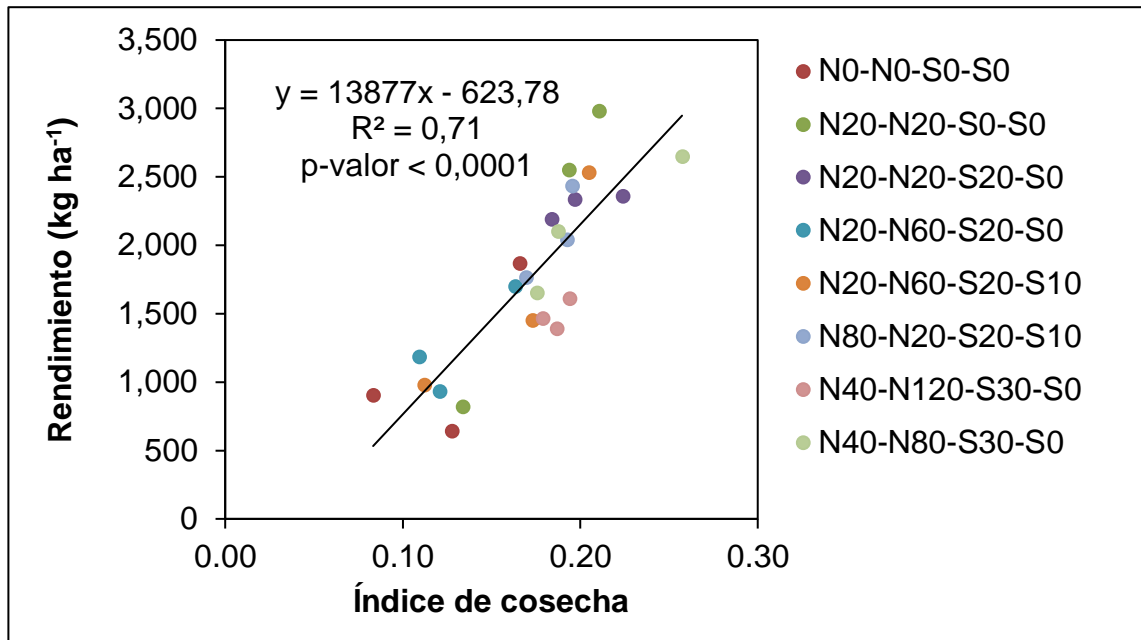
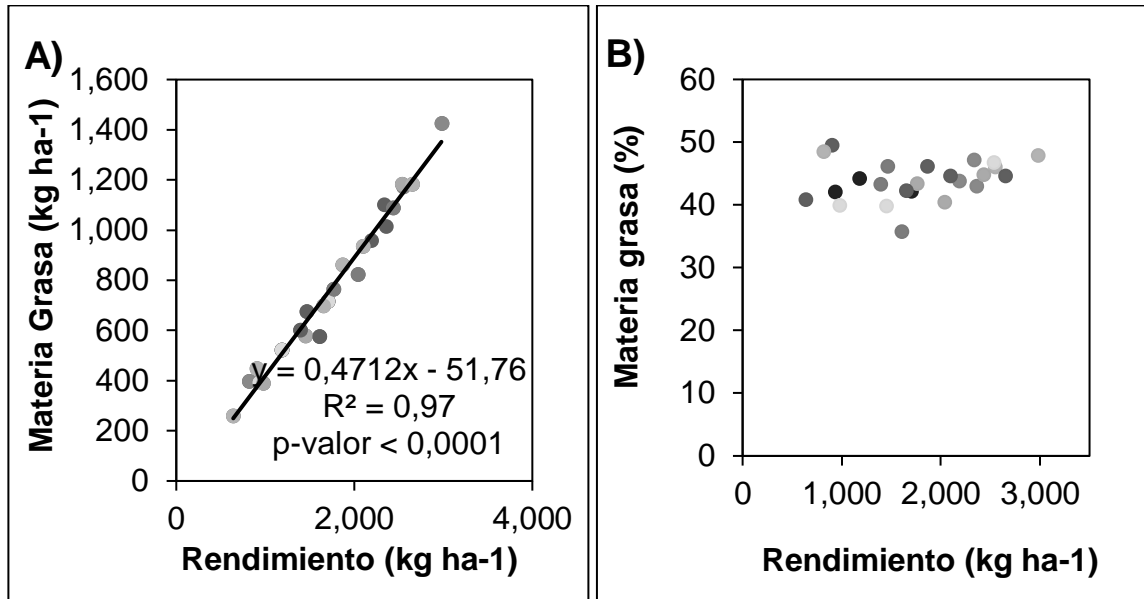


Figura No. 12. Relación entre rendimiento en grano e índice de cosecha (IC)

El contenido de materia grasa es un punto para destacar, ya que el destino final de la producción es la elaboración de biocombustibles. En tal sentido se aprecia claramente que no existe relación entre el porcentaje de materia grasa y rendimiento (Figura No. 13), pero si hay una relación lineal y positiva entre rendimiento y la materia grasa producida por unidad de superficie. El porcentaje de materia grasa en este trabajo osciló entre 35,8 y 49,5 %, con un promedio de 43,9%. Estos valores coinciden a los reportados en la literatura, donde se menciona 45,6% para *B. napus* y 40,2 % para *B. carinata*. Cabe señalar que la industria bonifica la producción de *B. napus* con un contenido mayor al 42% de materia grasa. Si esta condición se extrapola a la producción de *B. carinata*, sería una ventaja comercial.

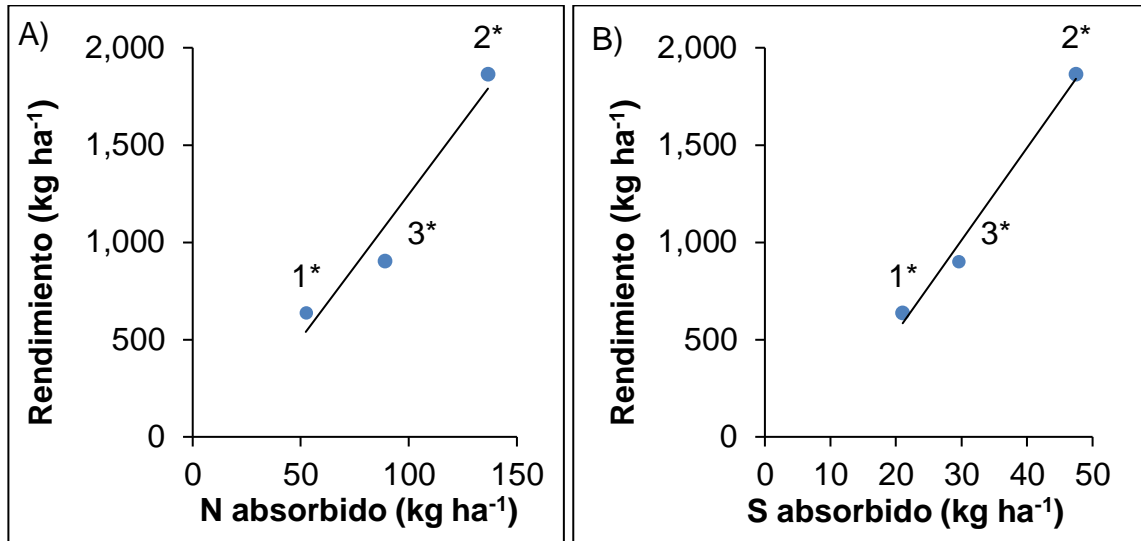


A) Materia grasa en función del rendimiento en grano, B) producción de materia grasa por unidad de superficie en función del rendimiento en grano.

Figura No. 13. Relación entre materia grasa y rendimiento

4.2.2. Absorción de nitrógeno y azufre

Al evaluar los niveles de N y S absorbidos por los testigos sin fertilización, se logró conocer el aporte de nitrógeno por parte del suelo y su efecto sobre el rendimiento. Los valores de N absorbido estuvieron entre 52 y 136 kg N ha⁻¹ (Figura No. 14A), mientras que el S estuvo entre 21 y 48 kg ha⁻¹ (Figura No. 14B). En promedio la absorción de N y S por Mg de rendimiento en grano sin el agregado de fertilizante fue de 82 y 29 kg respectivamente, valores superiores a los reportados por Della Santa et al. (2018), quienes obtuvieron absorciones de 67 kg de N y 15 kg de S para los testigos sin fertilizar.



*Los números representan el bloque al que pertenece cada testigo. A) Relación entre el rendimiento en grano y el nitrógeno absorbido a cosecha, B) relación entre el rendimiento en grano y el azufre absorbido a cosecha.

Figura No. 14. Absorción de nitrógeno y azufre en tratamientos testigos

Lo que refiere a la absorción de N, se encontró una asociación fuerte con el rendimiento en grano (Figura No. 15). Para lograr altos rendimientos se tienen que absorber altas cantidades de N, acompañadas de una buena disponibilidad de S, esto concuerda con lo reportado por Zamora y Massigoge (2008), quienes afirman que, para obtener una producción elevada y estable en el cultivo de colza, es necesario que la nutrición nitrogenada sea acompañada con un contenido de S adecuado, el cual también mejoraría el índice de eficiencia del N.

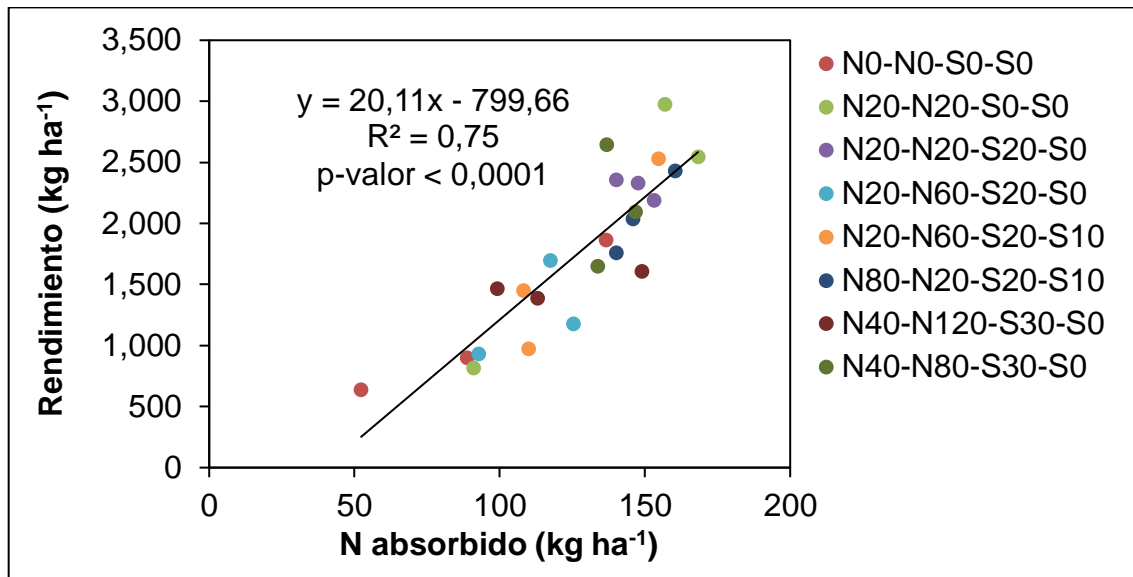


Figura No. 15. Nitrógeno absorbido a cosecha por los diferentes tratamientos con relación al rendimiento

En cuanto a la relación entre el azufre absorbido y el rendimiento, esta resultó en un comportamiento similar al N (Figura No. 16), por lo que, y a diferencia del trabajo realizado por Della Santa et al. (2018), la correlación del azufre en cuanto a rendimiento resultó alta, por lo que se requirió de una alta disponibilidad de dicho nutriente para lograr rendimientos altos, disponibilidad que se presume se encontró en el suelo al momento de realizar los ensayos ya que en el experimento no se observó un efecto claro de los diferentes tratamientos con S sobre la absorción de S (Figura No. 17B), esto se explica partiendo de la base de que aún el tratamiento N20-N20-S0-S0 que no tuvo aportes de S, logró absorber en promedio 40 kg ha⁻¹ de S a fin de ciclo, un promedio muy similar a los 41 kg ha⁻¹ de S que absorbieron los tratamientos fertilizados tanto con 20 como con 30 kg ha⁻¹ de S.

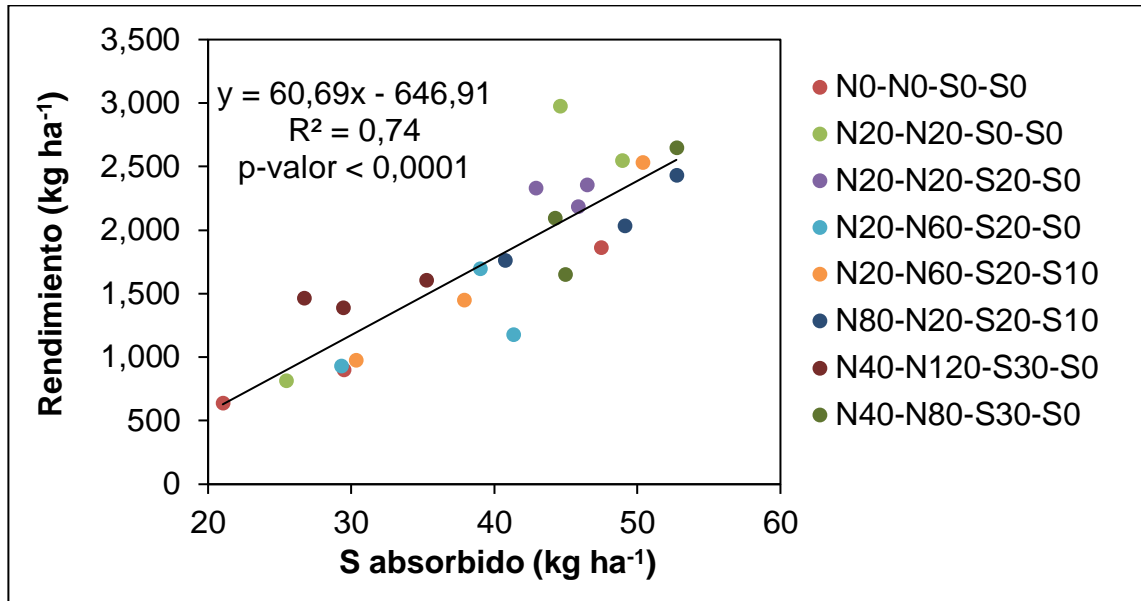
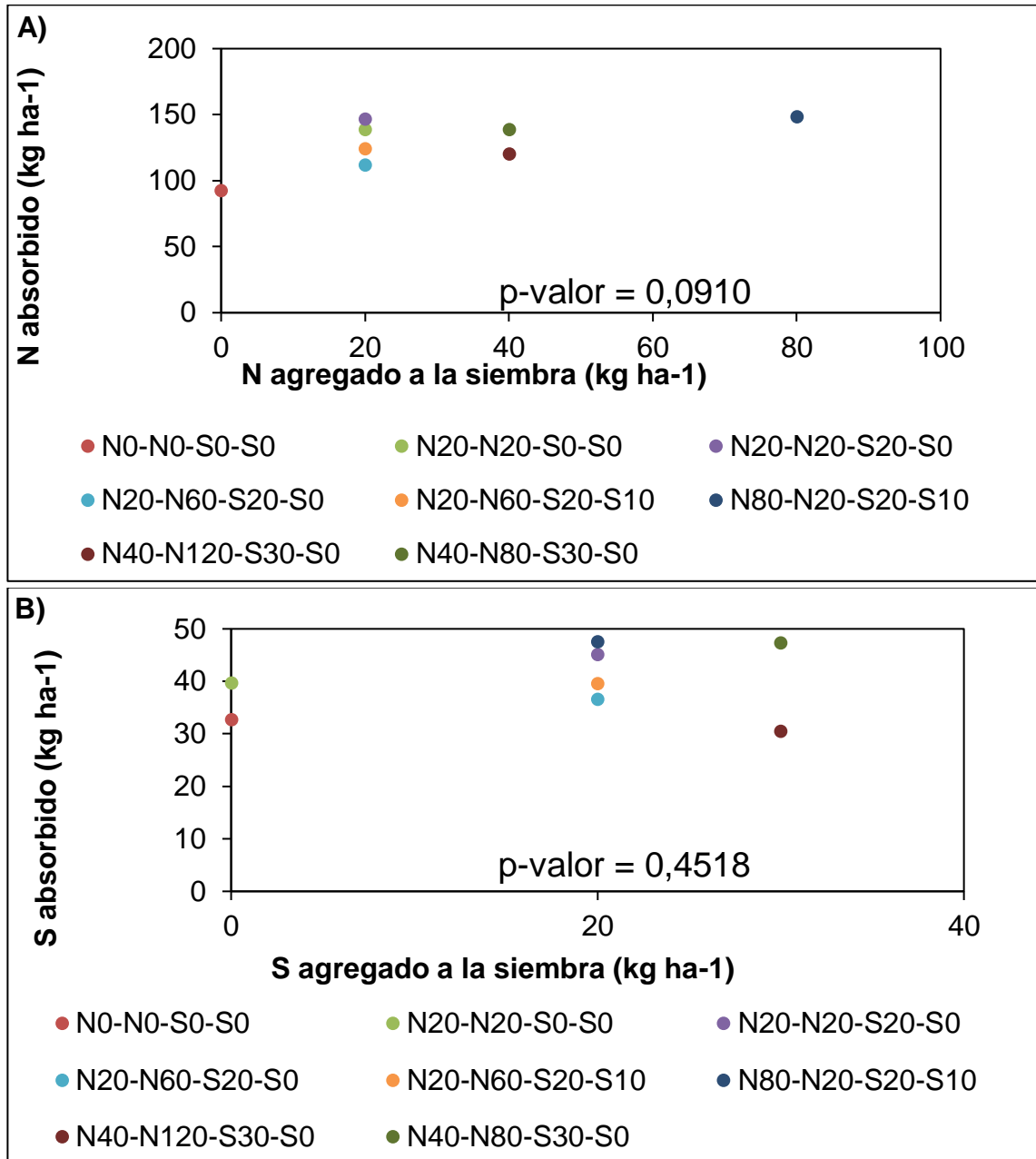


Figura No. 16. Azufre absorbido a cosecha por los diferentes tratamientos con relación al rendimiento

En cuanto a la relación entre el N absorbido y el N agregado a la siembra (Figura No. 17A), se observa una respuesta positiva si se compara el agregado de N versus el no agregado de N (tratamiento testigo), pero al analizar la relación existente entre aquellos tratamientos que sí fueron fertilizados con N, no se logra describir una clara respuesta a la dosis diferencial aplicada entre tratamientos.



A) Relación entre nitrógeno absorbido a cosecha y nitrógeno agregado a la siembra, B) relación entre el azufre absorbido a cosecha y azufre agregado a la siembra.

Figura No. 17. Nitrógeno y azufre absorbidos según el agregado de nutriente a siembra

Se observó una relación positiva entre la absorción de ambos elementos (Figura No. 18) indicando que ante una alta absorción de nitrógeno el cultivo necesitará una mayor disponibilidad de azufre, de esta manera ambos elementos pueden co-limitar el rendimiento.

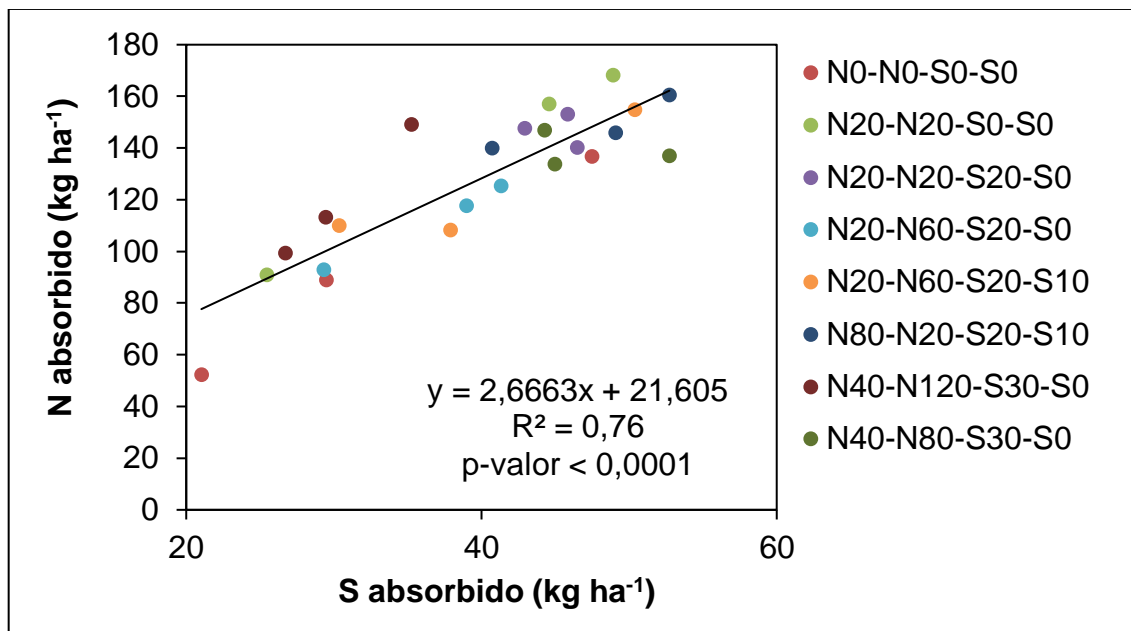


Figura No. 18. Relación entre nitrógeno absorbido y azufre absorbido

La absorción de N fue mayor en los tratamientos que fueron fertilizados con N (Figura No. 19), el tratamiento testigo fue el que menor absorción obtuvo, esta diferencia en absorción se comienza a evidenciar en floración, lo mismo ocurrió para el caso del tratamiento 2 (N20-N20-S0-S0), es entonces que surge una similitud en la respuesta de dichos tratamientos la cual se puede explicar por el no agregado de S en implantación. En general la absorción fue continua hasta cosecha, lo que demuestra que el cultivo mantuvo el área foliar hasta finalizar el ciclo.

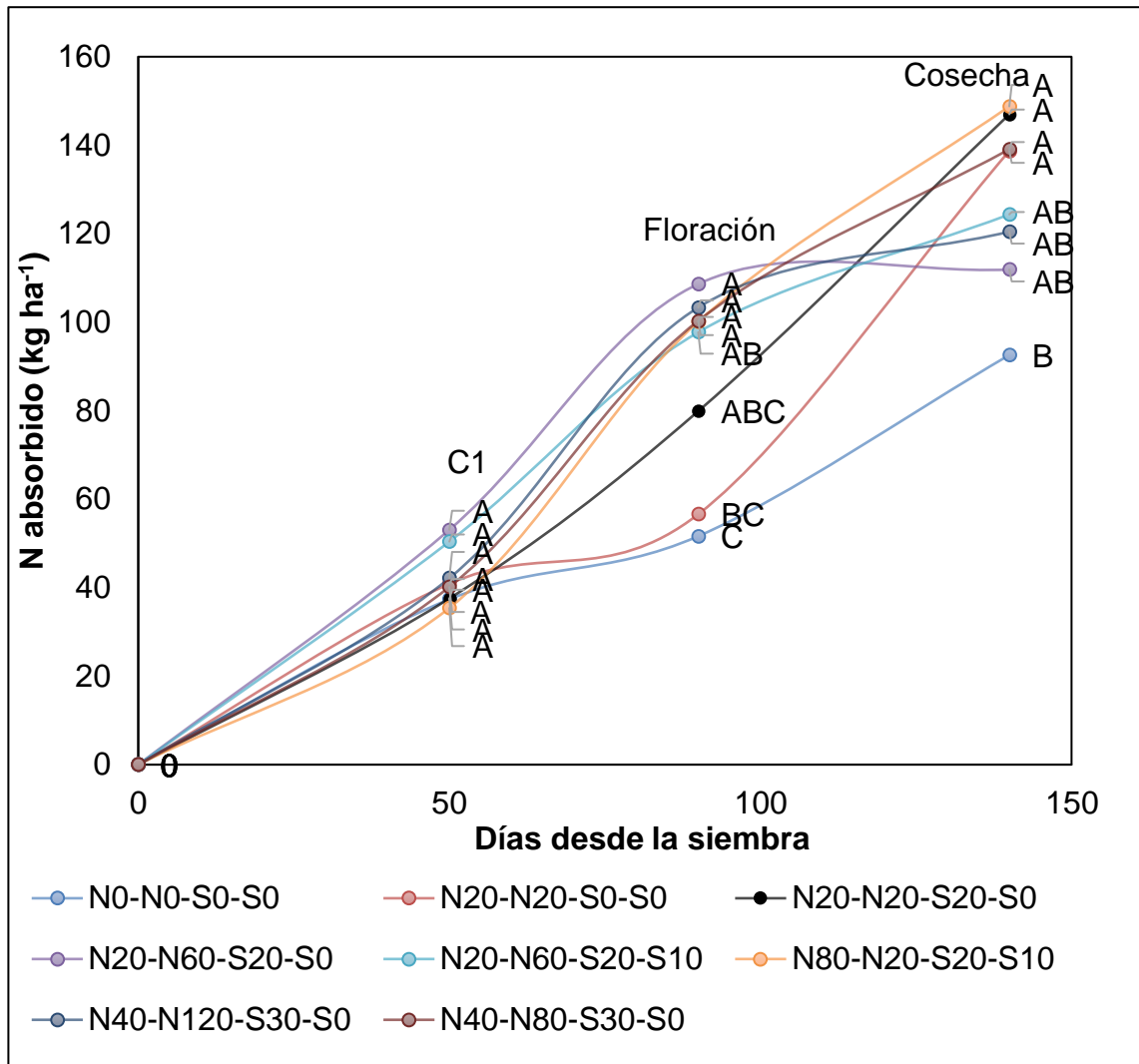
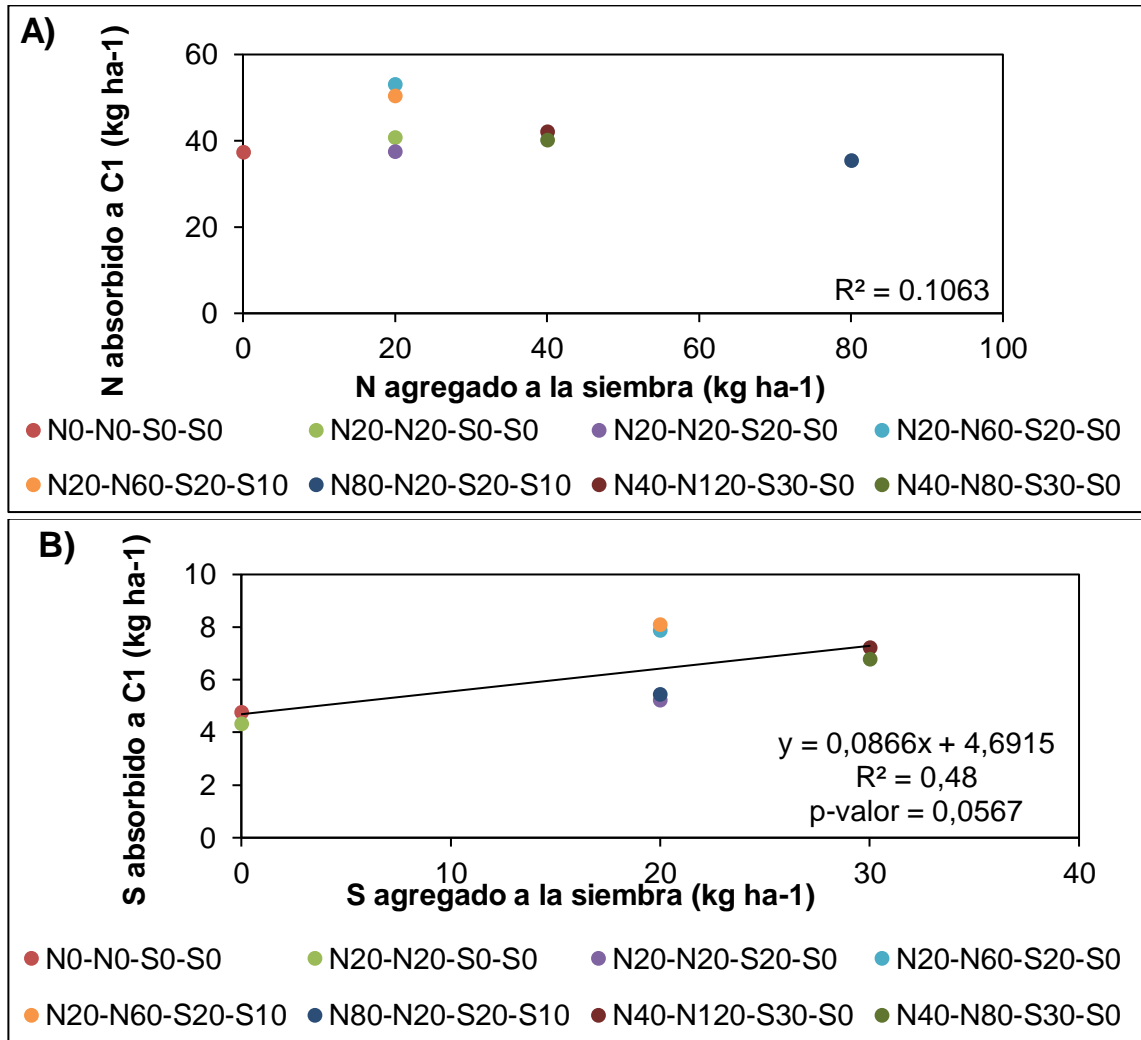


Figura No. 19. Absorción de nitrógeno de siembra a cosecha según tratamiento

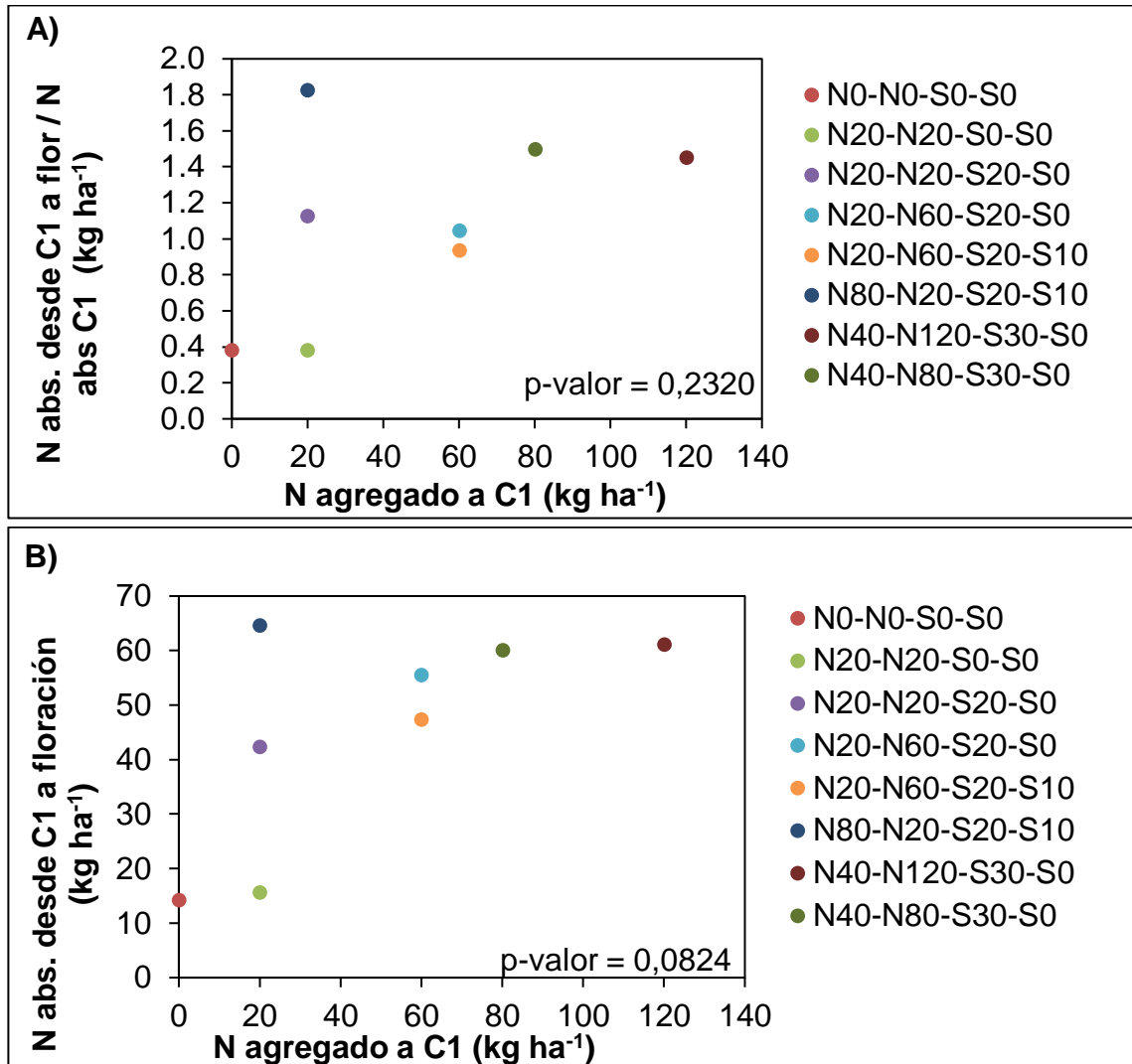
No se encontró asociación entre el N absorbido y el N agregado a la siembra (Figura No. 20), la baja respuesta al N agregado fue prevista al momento de analizar los niveles de nitrógeno en el suelo (Cuadro No. 3), aumentar aún más la disponibilidad de N en el suelo no favoreció la absorción de este, al menos en el periodo siembra-C1. Al evaluar la absorción de azufre en dicho periodo, se encontró que aportes de S en siembra desde los 20 kg ha⁻¹ contribuyeron a aumentar la absorción del mismo con respecto al testigo.



A) Nitrógeno absorbido a C1 según nitrógeno agregado a la siembra, B) azufre absorbido a C1 y azufre agregado a la siembra.

Figura No. 20. Nitrógeno y azufre absorbidos en C1 según dosis agregada a la siembra

En el experimento se observó como tendencia, que en los tratamientos que no se fertilizaron con N en el estadio de C1, la absorción de N en el periodo de C1 a floración fue menor a la absorción comprendida entre implantación y C1 (Figura No. 21, A), y que la absorción comprendida en el periodo C1 a floración tiende a aumentar con el agregado de N en C1 (Figura No. 21, B), por lo tanto, fraccionar la dosis de N a implantación y C1 permitiría una continua absorción de nitrógeno durante el ciclo del cultivo.



A) Relación entre el nitrógeno absorbido desde C1 a floración con respecto al absorbido entre implantación y C1 según el nitrógeno agregado a C1, B) nitrógeno absorbido desde C1 a floración según nitrógeno agregado a C1.

Figura No. 21. Absorción de nitrógeno a floración según el agregado en estado C1

4.2.3. Estado nutricional del cultivo

En el estadio de C1, la concentración media de S en planta fue 0,83%; y la concentración media de N llegó al 5,6%, ubicándose esta última por encima de lo reportado por Grant y Bailey (1993) en *Brassica napus*, quienes explican que el rango de requerimiento de nitrógeno en biomasa puede variar entre 2,5 y 4%

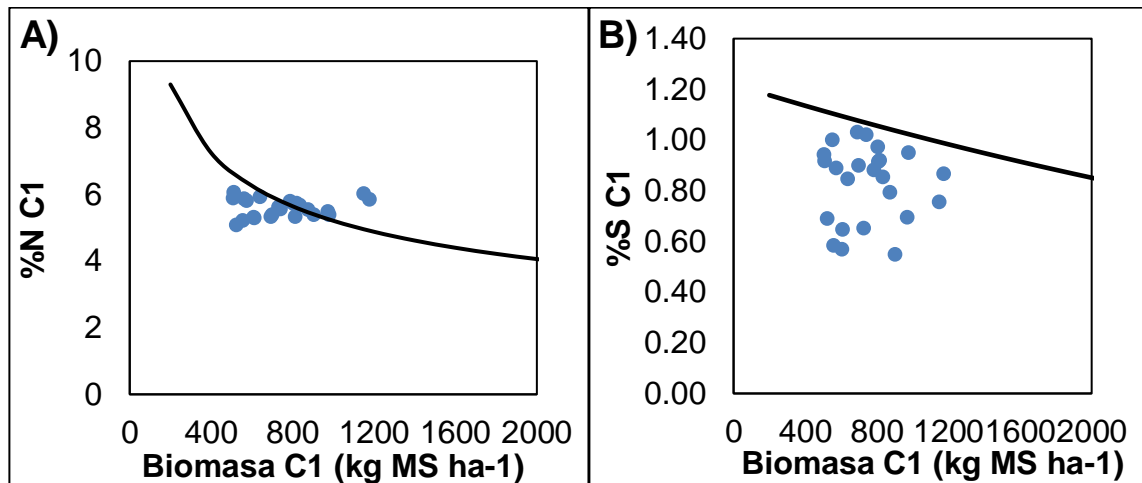
según el estadio, considerando así valores por debajo de 2% como insuficientes mientras que superiores al 5% como excesivos (Cuadro No. 5). Los resultados del experimento fueron similares a los obtenidos por Della Santa et al. (2018), quienes reportaron concentraciones de N en planta de 5,32% y de azufre 0,83%, ambos en estadio de C1. El experimento logró una producción promedio de biomasa a C1 de 751 kg ha⁻¹, un valor similar a la media de 609 kg ha⁻¹ reportada en el trabajo presentado por Della Santa et al. (2018).

Cuadro No. 5. Estado nutricional del cultivo en el estadio de C1

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E*	C.V (%) *
N C1 (%) *	5,60	5,29	5,79	0,16	2,8
S C1 (%) *	0,83	0,59	0,95	0,13	16,1
Biomasa C1 (kg MS ha ⁻¹)	751	615	926	106	14,1

*N C1 (%) = nitrógeno en C1, S C1 (%) = azufre en C1, D.E = desvío estándar, CV (%) = coeficiente de variación.

En el rango de biomasa obtenido en el experimento a estadio C1 los tratamientos que superaron los 780 kg MS ha⁻¹ se ubicaron por encima de la curva de dilución de nitrógeno propuesta por Ferreira y Ernst (2014), en cambio en el caso del azufre todos los tratamientos se ubicaron por debajo de la curva de dilución de S.



A) Concentración de %N a C1 en relación a la biomasa total acumulada a C1 (puntos azules) y curva de dilución de nitrógeno propuesta por Ferreira y Ernst (2014), B) concentración de %S a C1 en relación a la biomasa total acumulada a C1 (puntos azules) y curva de dilución de azufre propuesta por Ferreira y Ernst (2014).

Figura No. 22. Curva de dilución de nitrógeno y azufre

Para maximizar la producción de biomasa a C1 Ferreira y Ernst (2014) proponen niveles críticos para los índices de nutrición nitrogenada y azufrada de 1,04 y 0,88 respectivamente, basado en esto, al analizar los resultados del experimento se observó que la mayoría de los tratamientos se encontraron por debajo del índice crítico de nutrición nitrogenada, a pesar de la alta disponibilidad de nitrógeno en el suelo, lo cual indica que la producción de biomasa podría haber operado como limitante para la absorción (Figura No.19). En cuanto a la nutrición azufrada, se observa que los tratamientos que no fueron fertilizados con S en implantación presentaron mayor proporción de sitios con deficiencias de S (Figura No. 23).

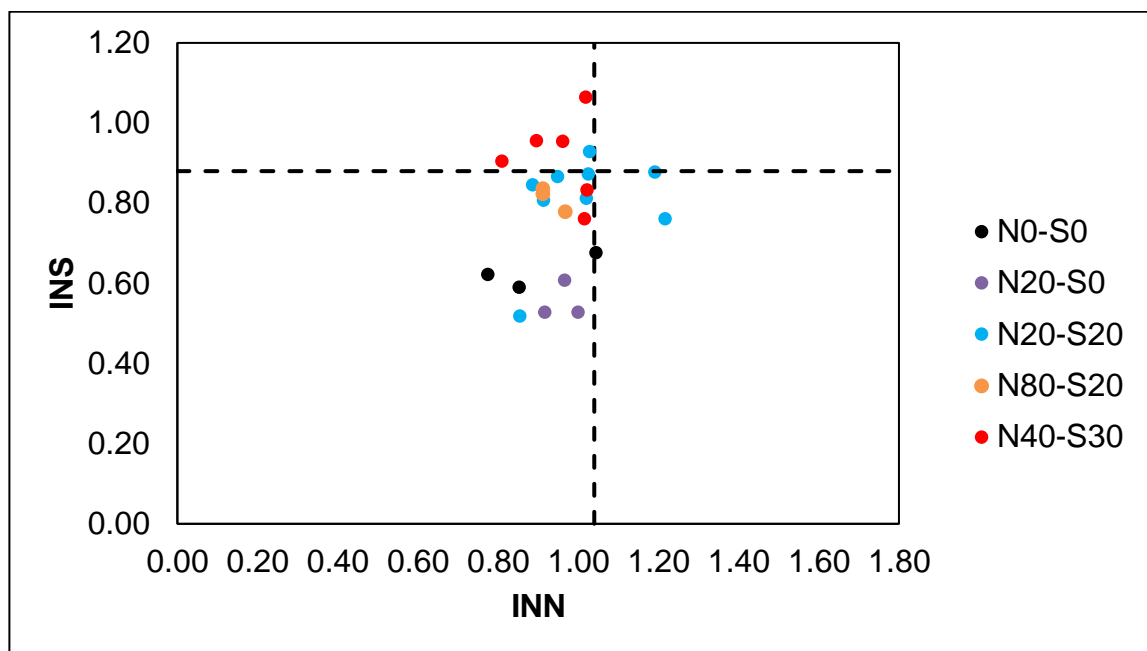


Figura No. 23. Relación entre el índice de nutrición nitrogenada (INN) e índice de nutrición azufrada (INS) según la dosis de nitrógeno y azufre agregada a implantación

Analizando el índice de nutrición nitrogenada (INN) con relación al N absorbido a C1 y el N agregado a implantación (Figura No. 24), se observa una relación lineal positiva entre el N absorbido y el INN partiendo de que el no agregado de N en implantación tuvo como resultado valores mínimos tanto de absorción como de INN, y que el agregado de N resultó en aumentos del INN con respecto al testigo. Para alcanzar la condición de N no limitante se debió absorber más de 53 kg N ha^{-1} , un valor muy superior al reportado por Della Santa et al. (2018), quienes indicaron que en *Brassica carinata* se requerirían absorciones mayores a 40 kg ha^{-1} para superar el nivel crítico de INN. Pero muy similar al

obtenido por Ferreira y Ernst (2014) quienes publicaron que para *Brassica napus* el nivel crítico de N absorbido necesario para alcanzar un INN no limitante en planta a C1 fue de 54 kg ha⁻¹.

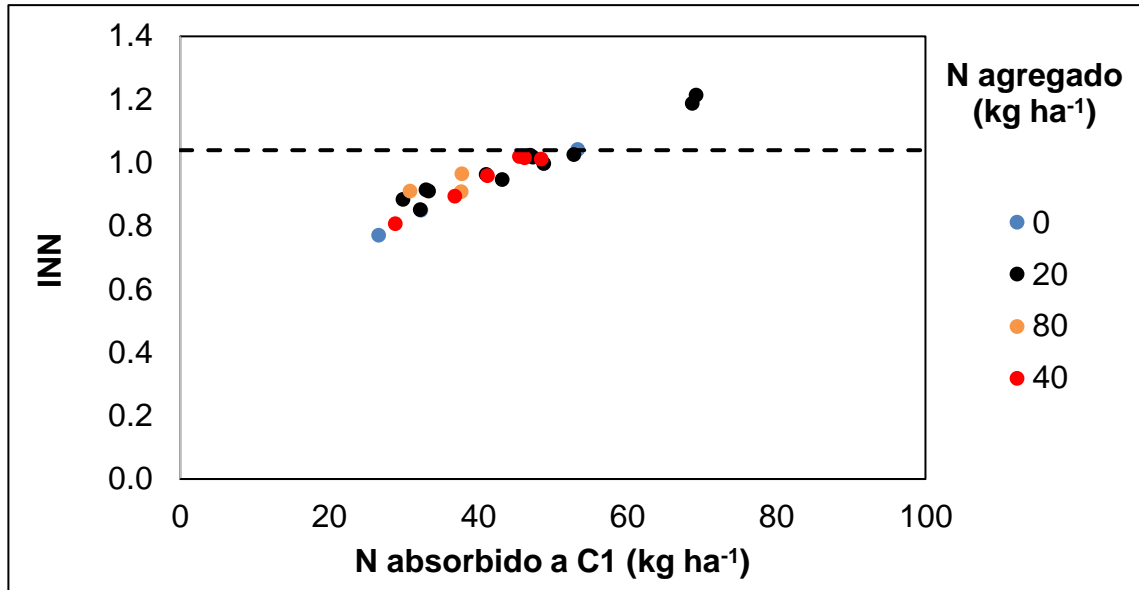


Figura No. 24. Relación entre el nitrógeno absorbido a C1 y el índice de nutrición nitrogenada (INN) según nitrógeno agregado a implantación

En cuanto a la relación entre el INS y el S absorbido a C1 (Figura No. 25), esta fue positiva, presentando mayores deficiencias de S aquellos tratamientos que no recibieron aportes de S en implantación, y la condición de suficiencia aquellos tratamientos que recibieron dosis máximas de 30 kg S ha⁻¹ a implantación. Para alcanzar la condición de S no limitante se debió absorber en promedio más de 10 kg S ha⁻¹, siendo el promedio de S absorbido en las parcelas con S no limitante de 16 kg ha⁻¹, Estos valores son superiores a los publicados por Ferreira y Ernst (2014) en *Brassica napus*, Della Santa et al. (2018) en *Brassica carinata*, quienes afirman que para llegar al nivel crítico propuesto el cultivo debe absorber un mínimo de 6 y 7 kg ha⁻¹ respectivamente, pero sí similares a los obtenidos por López y Verocai (2016) en *Brassica napus*, los mismos reportaron 9 kg S ha⁻¹ para alcanzar la suficiencia y 15 kg S ha⁻¹ absorbidos como promedio de las parcelas con S no limitante.

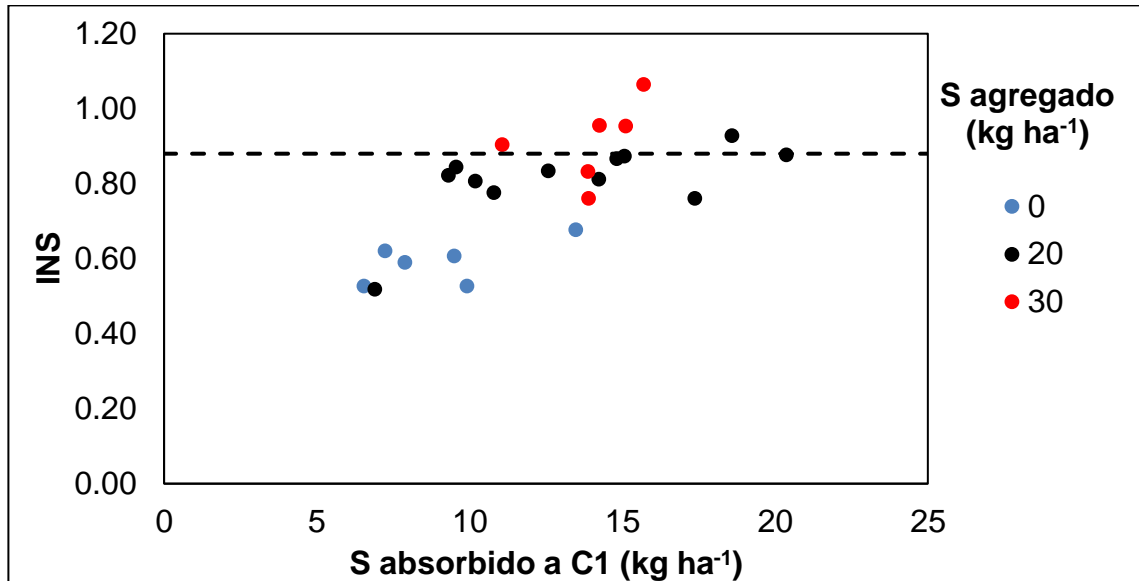


Figura No. 25. Relación entre el azufre absorbido a C1 y el índice de nutrición azufrada (INS) según azufre agregado a implantación

El INN a su vez se relacionó positiva y linealmente con la biomasa a C1 (Figura No. 26), logrando producciones de biomasa máximas de 1150 kg ha⁻¹ con niveles de INN de 1,2 lo que indica que otros factores que limiten el crecimiento pueden haber sido los responsables de la limitación en la absorción de N.

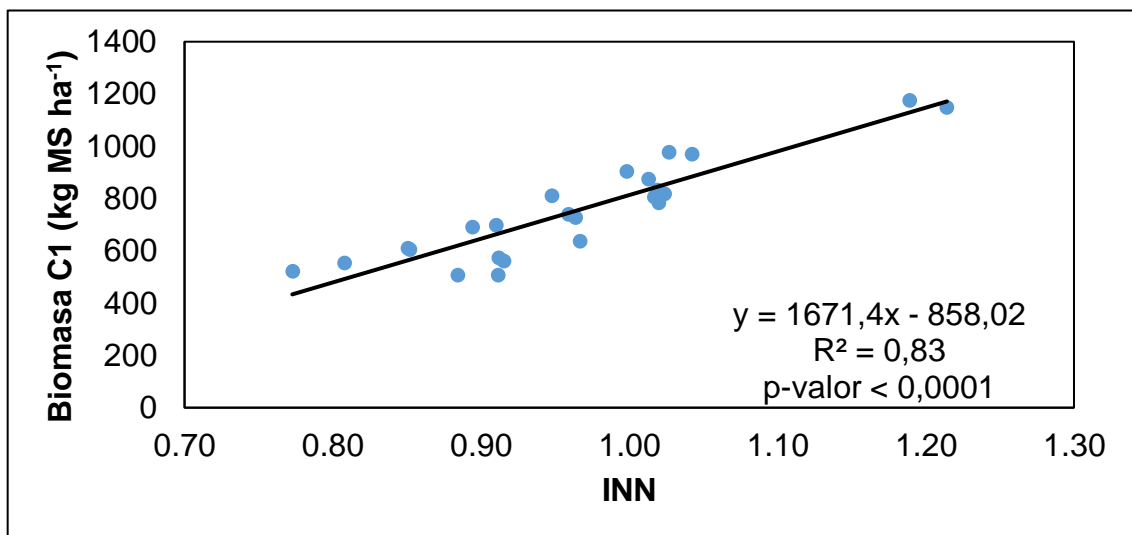


Figura No. 26. Relación entre la biomasa obtenida a C1 y el índice de nutrición nitrogenada (INN)

En cuanto a la relación entre los promedios de INN y IC para cada tratamiento, se observó que aquellos tratamientos que tuvieron un INN por debajo de 1,04 y no fueron fertilizados con nitrógeno lograron los índices de cosecha más bajos (tratamiento testigo con un IC de 0,13b), en cambio los tratamientos que tuvieron INN por debajo de 1,04 y fueron fertilizados con N obtuvieron los valores de IC más altos (IC promedio de 0,19a sin diferencias estadísticas entre sí), caso contrario ocurrió en aquellos tratamientos que tuvieron un nivel de INN superior a 1,04 y fueron fertilizados con nitrógeno, ya que en dicho caso (tratamiento N20-N60-S20-S0) logró un valor de IC similar (IC de 0,13b) a los obtenidos por el tratamiento testigo, de esta manera teniendo en cuenta la relación Biomasa a C1 y INN (Figura No. 27) se observó que los aumentos de biomasa obtenidos al fertilizar el cultivo con un INN superior al nivel crítico de 1,04 propuesto por Ferreira y Ernst (2014) en colza, no fueron acompañados de un aumento en el rendimiento de grano, disminuyendo el índice de cosecha.

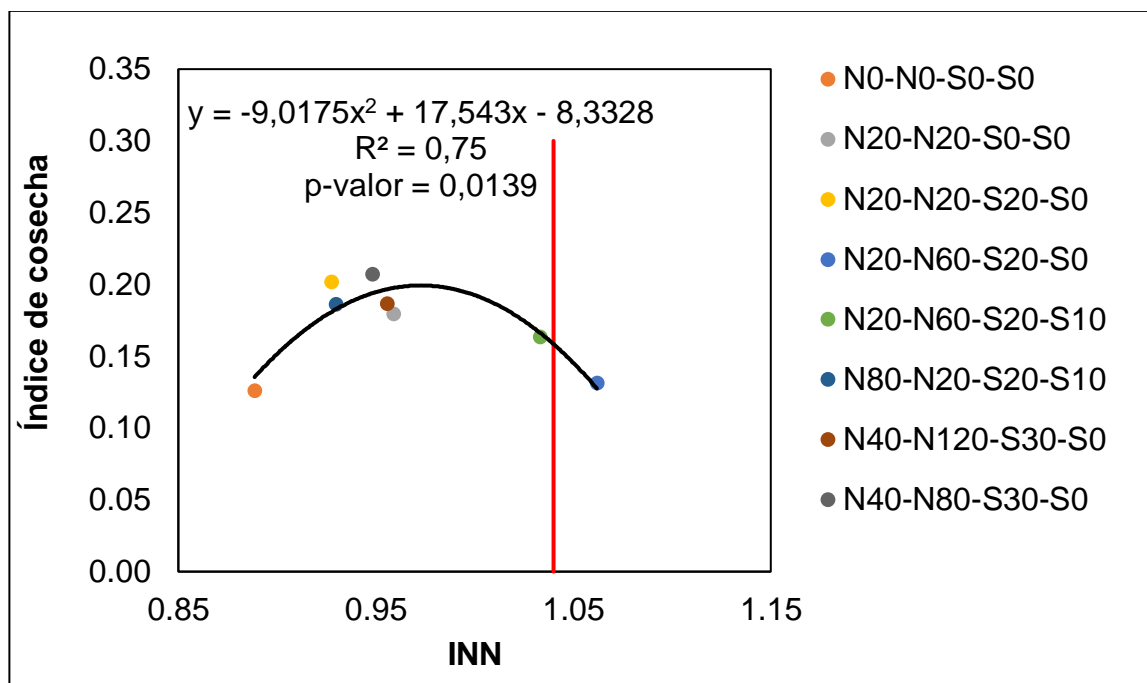


Figura No. 27. Relación entre índice de nutrición nitrogenada (INN) e índice de cosecha (IC)

4.2.4. Eficiencia de uso de nutrientes

La eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) muestra una tendencia decreciente en la medida que aumenta el nitrógeno agregado (Figura No. 28), cuando el N agregado aumenta, la eficiencia se reduce, logrando así mayor eficiencia a menores dosis de N agregado. Eficiencias en el rango de -8 a 46 kg grano por kg N agregado ha⁻¹ se lograron con agregados mínimos de 40 UN ha⁻¹, a esta misma dosis Della Santa et al. (2018), reportaron eficiencias que fueron desde 40 a 80 kg grano por kg N agregado ha⁻¹. En el experimento la variabilidad en la respuesta a dosis mínimas de agregado de N puede estar explicada por el contenido de N-NO₃ en suelo al momento de implantación (Cuadro No. 3).

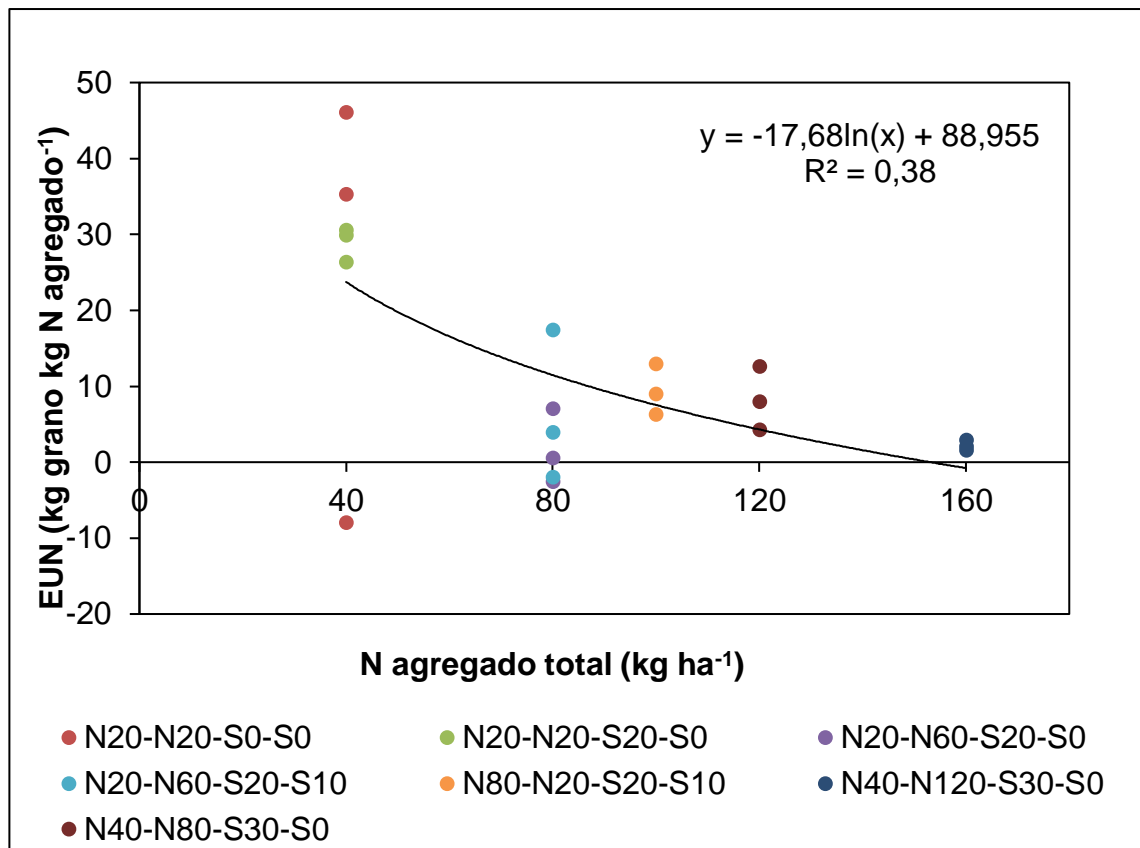


Figura No. 28. Eficiencia de uso del nitrógeno

La eficiencia agronómica del uso de nitrógeno (Figura No. 29) tiende a ser menor en la medida que aumenta el N disponible (N aportado por el suelo + N agregado en el ciclo del cultivo). En el experimento se observaron eficiencias

comprendidas entre -1,5 y 11 kg grano por kg N total ha⁻¹, valores por debajo a los reportados por Della Santa et al. (2018), quienes obtuvieron un mínimo de 20 kg grano por kg N disponible⁻¹ con disponibilidades máximas de 200 kg N ha⁻¹ (no toma en cuenta aportes por mineralización), y es a causa de esta disponibilidad de N en suelo que surgen dichas diferencias entre eficiencias, ya que en el presente experimento al agregar la dosis mínima de N, la disponibilidad de N se situó en 185 kg N ha⁻¹, y a dosis máxima la disponibilidad ascendió a 305 kg N ha⁻¹.

No se observó un claro efecto del S y es que a diferencia de lo reportado por Salvagiotti et al. (2009), el agregado de S no mejoró la EAUN, esto puede verse en los tratamientos que presentaron la misma fertilización nitrogenada, pero variaron en cuanto a la azufrada. Los tratamientos N20-N20-S0-S0 y N20-N20-S20-S0 presentaron una eficiencia muy similar, sin poder diferenciarlas estadísticamente. Una limitante a la hora de analizar dicha interacción es que no se cuentan con valores de disponibilidad de azufre en suelo previa fertilización.

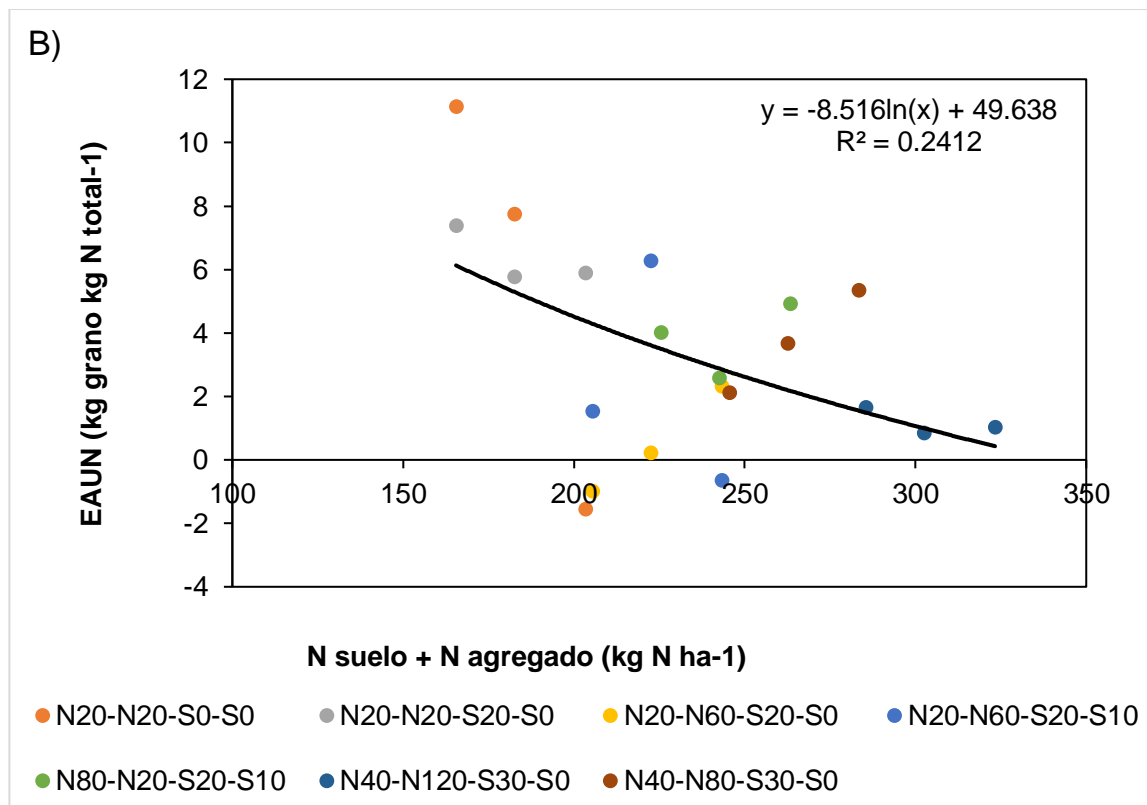


Figura No. 29. Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno

La eficiencia de recuperación (como proporción sobre la dosis de N agregada) en floración (Figura No. 30) tuvo una tendencia decreciente cuanto mayor fue la dosis agregada, a excepción del tratamiento N40-S0 que no recibió aporte de S pudiendo verse afectada la absorción de N en estados tempranos del cultivo.

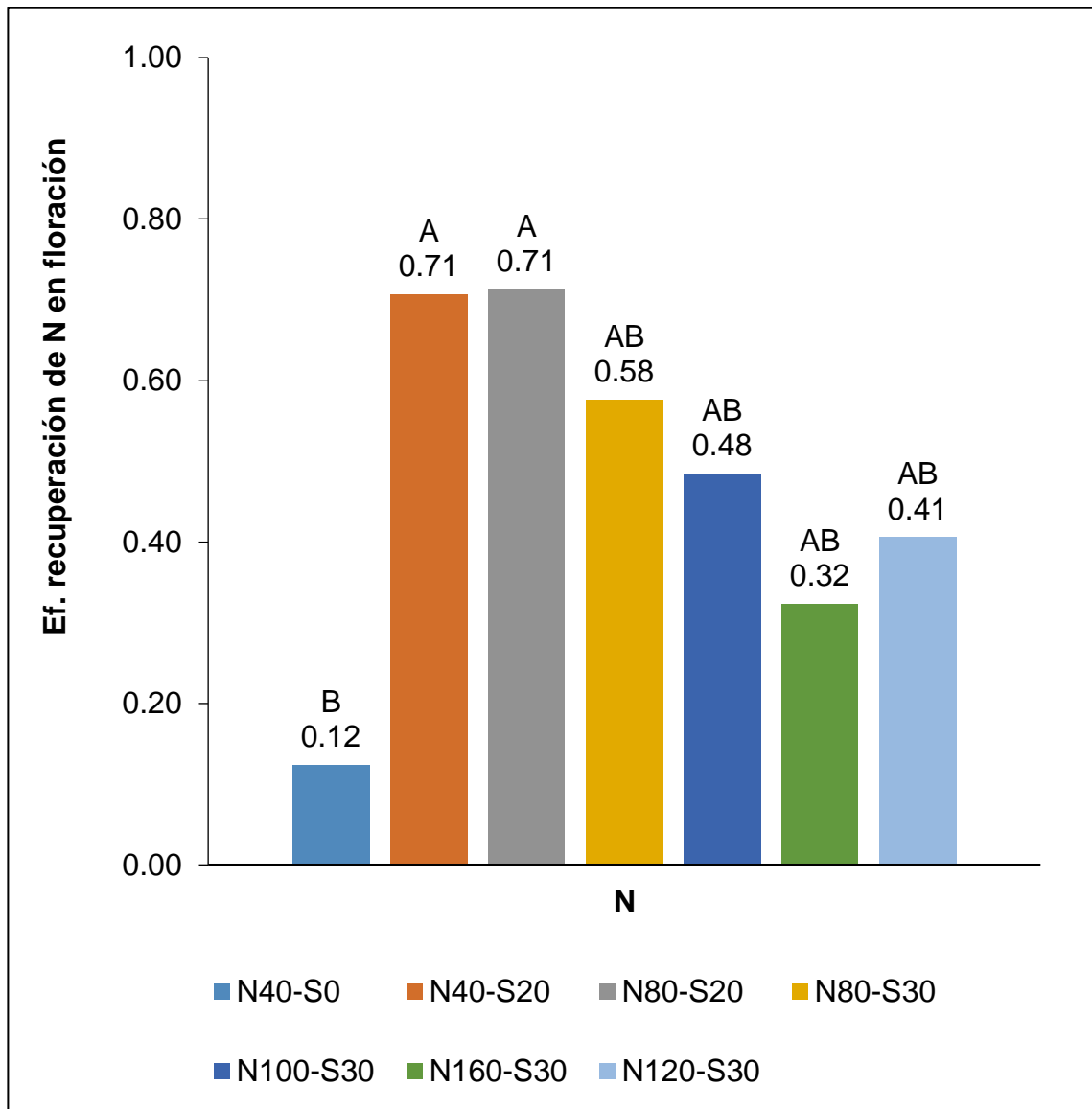


Figura No. 30. Eficiencia de recuperación de nitrógeno en floración

En cuanto a recuperación de N por tratamiento en el total del ciclo (Figura No. 31), los tratamientos que lograron una mayor eficiencia de recuperación fueron aquellos que recibieron menor agregado de fertilizante (40 kg N ha^{-1}), este efecto puede estar explicado por el aporte de N del suelo que les permitió llegar a valores de absorción similares o incluso superiores a tratamientos que recibieron mayores aportes de N, para el caso del azufre recuperaciones máximas se obtuvieron desde dosis mínimas de 20 kg S ha^{-1} en implantación, hasta dosis de 30 kg S ha^{-1} tanto en implantación como también en aquellos tratamientos en que se fraccionó 20 kg S ha^{-1} en implantación y 10 kg S ha^{-1} en C1.

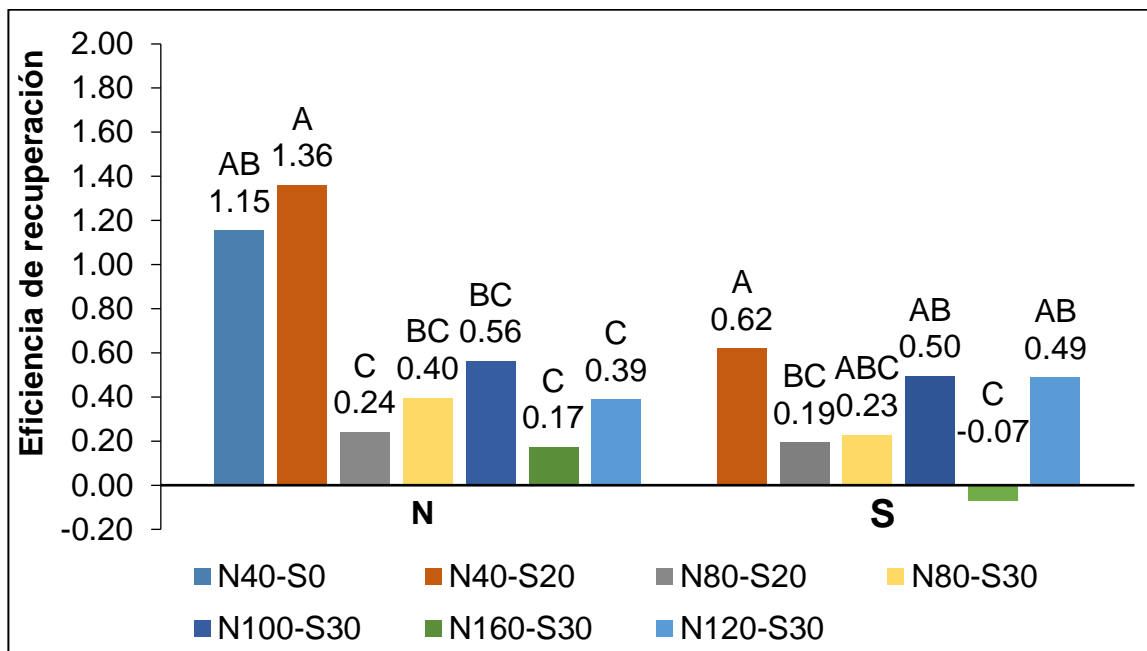


Figura No. 31. Eficiencia de recuperación de nitrógeno y azufre según tratamiento a fin de ciclo

4.2.5 Extracción de nitrógeno y azufre

Se analizaron las extracciones de nutrientes del ensayo cada 1000 kg de grano y se compararon con algunas de las diferentes alternativas de cultivos de invierno (Cuadro No. 6), se observó que la extracción de nitrógeno del ensayo ($44 \text{ Kg Mg}^{-1} \text{ N}$) es prácticamente el doble si se compara con la extracción que realiza el cultivo de trigo ($21 \text{ Kg Mg}^{-1} \text{ N}$), y tres veces mayor si se la compara con la extracción de nitrógeno de la cebada ($15 \text{ Kg Mg}^{-1} \text{ N}$). En cuanto a la extracción de azufre, el resultado del ensayo ($8 \text{ Kg Mg}^{-1} \text{ S}$), fue cuatro veces superior a la extracción que realizan el trigo y la cebada ($2 \text{ Kg Mg}^{-1} \text{ S}$). Al comparar las extracciones del ensayo con la extracción presentada por Ciampitti y García (2009), en colza-canola, se apreció que el ensayo extrajo aproximadamente 14% más de nitrógeno por tonelada de grano, pero prácticamente sin diferencias en cuanto a la extracción de azufre, lo mismo ocurrió al comparar el ensayo con los resultados de extracción de carinata presentados por Della Santa et al. (2018). Podemos pensar que la diferencia en extracción de nitrógeno por parte del ensayo este vinculada al aporte de N por parte del suelo (Cuadro No. 3), y este relacionado a lo que se conoce como consumo de lujo, es decir un consumo del nutriente por parte del cultivo que no se ve reflejado en el rendimiento en grano, pudiendo incluso llegar a afectarlo negativamente.

Cuadro No. 6. Extracción de nutrientes cada 1000 kg de grano

Cultivo	Extracción (Kg Mg^{-1})			
	N	P	K	S
Trigo (Ciampitti y García, 2009)	21	4	4	2
Cebada (Ciampitti y García, 2009)	15	3	5	2
Colza canola (Ciampitti y García, 2009)	38	11	28	7
Carinata 2018 (Della Santa et al., 2018)	37			7
Carinata ensayo	44			8

5. CONCLUSIONES

El factor suelo fue determinante a la hora de evaluar la respuesta a la fertilización, ya que el ensayo presentó un alto contenido de N-NO₃ al momento de la implantación, generando la baja respuesta observada a la fertilización nitrogenada.

El agregado de N en implantación resultó en aumentos de absorción de N y aumentos en el INN con respecto al testigo. Para alcanzar la condición de N no limitante se debió absorber un mínimo de 53 kg N ha⁻¹. A pesar de la alta disponibilidad de nitrógeno el cultivo no logró superar los niveles críticos de INN para la mayoría de los tratamientos, lo que llevo al cultivo a continuar absorbiendo nitrógeno hasta cosecha, manteniendo el área foliar. En este marco la eficiencia agronómica del uso de nitrógeno tendió a ser menor en la medida que aumentó el N disponible.

Con fertilizaciones a implantación de 30 kg S ha⁻¹ se logró alcanzar la condición de S no limitante durante el ciclo del cultivo, aun así, no se logró demostrar efecto del INS sobre el rendimiento, a su vez el agregado de S no mejoró la EUN.

Los tratamientos que presentaron un INN por debajo del crítico (entre 0,93 y 0,96) fueron fertilizados e independientemente del nivel de dosis aplicada, lograron obtener rendimientos de biomasa a floración que no difieren estadísticamente de los tratamientos que fueron fertilizados teniendo a C1 un INN de 1,03 y 1,06.

Para el caso del rendimiento en grano aquellos tratamientos que se encontraron por debajo del INN y fueron fertilizados tuvieron un mayor índice de cosecha que aquellos que fueron fertilizados mientras tenían un INN de 1,03 y 1,06. Es probable que el agregado de nitrógeno cuando el INN es superior o igual al crítico tenga un efecto depresor sobre el IC, de esta manera el indicador INN elaborado por Ferreira y Ernst (2014) en *Brassica napus*, logra predecir la respuesta a la fertilización en *Brassica carinata*.

6. RESUMEN

Brassica carinata se encuentra disponible en Uruguay desde 2015. Para el año 2018 la superficie sembrada de *Brassica sp.* alcanzó las 55000 ha, aumentando en un 4 % más respecto a la zafra anterior, el rendimiento promedio osciló los 1.646 kg ha⁻¹. *Brassica sp.* reúne una serie de características que facilitan su inclusión en los sistemas agrícolas. Entre ellas, la flexibilidad en la fecha de siembra, posibilidad de realizar una cosecha temprana, manejo cultural en malezas de difícil control en trigo y cebada, posibilidad de cortar ciclos de enfermedades en gramíneas invernales, rastros de fácil manejo, y una mejora física del suelo debido a su raíz pivotante, siendo de esta manera una alternativa valiosa para los cultivos de invierno tradicionales como trigo y cebada, sin embargo, hacen falta conocimientos productivos y/o comerciales para que el cultivo se establezca y aumente el área. El objetivo de este trabajo es evaluar la respuesta de N y S en el cultivo de *Brassica carinata* y conocer si las herramientas de decisión generadas para *Brassica napus* son aplicables a este cultivo, para ello se instaló un ensayo durante el invierno de 2018, en el predio comercial “Las Cumbres” ubicado en el departamento de Paysandú. Se aplicaron diferentes dosis de fertilizante tanto para N como para S, fraccionadas a la siembra e inicio de elongación (C1). Durante el desarrollo del cultivo se realizaron 3 determinaciones de biomasa y contenido de N y S: en el estadio fenológico C1, plena floración (F2) y cosecha. Se evaluó el rendimiento en grano y materia grasa, además se estimaron los componentes numéricos del rendimiento. También se calcularon las eficiencias de uso para los nutrientes evaluados y la eficiencia de uso del fertilizante. El rendimiento estuvo fuertemente asociado al número de granos m⁻², siendo el componente numérico que mejor explica los cambios en rendimiento y presentando la mayor variación frente a cambios en la absorción de N y S, mayores rendimientos fueron resultado de mayor número de grano m⁻² lo que a su vez se relacionó a un mayor número de granos por silícula, por otra parte, no se encontró asociación directa entre el rendimiento y peso de grano. Con lo que respecta al índice de cosecha tuvo un coeficiente de variación del 20% con una media de 0,17 muy por debajo de los IC obtenidos en trabajos anteriores, por otra parte, no existió correlación entre el porcentaje de materia grasa y el rendimiento, pero si una relación lineal y positiva entre rendimiento y kg de materia grasa. La eficiencia agronómica (EAUN) mostró una relación negativa con el nivel de nitrógeno disponible. Para el rango analizado en el año del experimento, a medida que el N agregado aumenta, la eficiencia se reduce, teniendo un valor mínimo de 5 kg grano por kg N agregado ha⁻¹. Para alcanzar la condición de N no limitante se debió absorber más de 53 kg N ha⁻¹ y en el caso del azufre la condición de S no limitante se logró al absorber en promedio más de 10 kg S ha⁻¹. La producción de biomasa y el INN mostraron una relación lineal incluso en los niveles máximos de INN obtenidos de 1,2.

Fertilizar el cultivo cuando este superó el nivel crítico de INN propuesto para colza no se tradujo en un aumento del rendimiento sino en un descenso del índice de cosecha.

Palabras clave: *Brassica carinata*; Nitrógeno; Azufre; Rendimiento; C1.

7. SUMMARY

Brassica carinata has been available in Uruguay since 2015. By 2018, the area planted with *Brassica sp.* reached 55000 ha, increasing by 4% more compared to the previous harvest, the average yield ranged from 1,646 kg ha⁻¹. *Brassica sp.* It has a series of characteristics that facilitate its inclusion in agricultural systems. Among them, the flexibility in the sowing date, the possibility of carrying out an early harvest, cultural management in weeds that are difficult to control in wheat and barley, the possibility of cutting disease cycles in winter grasses, easy-handling stubble, and a physical improvement of the soil due to its taproot, thus being a valuable alternative to traditional winter crops such as wheat and barley, however, productive and / or commercial knowledge is needed for the crop to establish itself and increase the area. The objective of this work is to evaluate the response of N and S in the culture of *Brassica carinata* and to know if the decision tools generated for *Brassica napus* are applicable to this culture. For this, a test was installed during the winter of 2018, in the commercial property "Las Cumbres" located in the department of Paysandú. Different doses of fertilizer were applied for both N and S, fractionated at sowing and beginning of elongation (C1). During the crop development, 3 determinations of biomass, also N and S content were carried out: in the phenological stage C1, full flowering (F2) and harvest. The grain and fat yield were evaluated, in addition the yield numerical components were estimated. The efficiencies of use on the evaluated nutrients and the fertilizer use efficiency were also calculated. The yield was strongly associated with the number of grains m⁻², being the numerical component that explains best the yield variation, and presenting the greatest variation compared to changes in the absorption of N and S, higher yields were the result of a greater number of grains m², which in turn was related to a greater number of grains per silique, on the other hand, no direct association was found between yield and grain weight. In terms of harvest index, it had a coefficient of variation of 20% with an average of 0,17, well below if it's compared to the CI obtained in previous works, on the other hand, there was no correlation between the percentage of fat and yield, but if a linear and positive relationship between yield and kg of fat. Agronomic efficiency (EAUN) showed a negative relationship with the level of available nitrogen. For the range analyzed in the year of the experiment, as the added N increases, the efficiency decreases, having a minimum value of 5 kg grain per kg N added ha⁻¹. To reach the condition of non-limiting N, more than 53 kg N ha⁻¹ had to be absorbed, in the other hand sulfur non-limiting condition was achieved by absorbing at least 10 kg S ha⁻¹. The biomass production and the INN perform a linear relationship even at the maximum INN levels obtained of 1,2. Fertilizing the crop when it exceeded the critical INN level proposed for rapeseed did not translate into an increase in yield but rather a decrease in the harvest index.

Keywords: *Brassica carinata*; Nitrogen; Sulfur; Yield; C1.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, M.; Uriarte, I. 2010. Respuesta del cultivo de colza-canola (*Brassica napus*) a las condiciones físico-químicas del suelo a nivel de chacra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 50 p.
2. Agosti, M. B. 2011. Fertilización nitrógeno- azufrada y variabilidad genotípica en el rendimiento y la calidad de grano en colza-canola (*Brassica napus L.*). Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. 148 p.
3. Allen, E. J.; Morgan, D. J. 1972. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 78(2):315-324. Consultado 15 mar. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600069161>
4. Almond, J. A.; Dawkins, T. C. K.; Askew, M. F. 1986. Aspects of crop husbandry. In: Scarisbrick, D. H.; Daniels, R. W. eds. *Oilseed rape*. London, Collins. pp. 127-176.
5. Altaf Ahmad, I. K.; Abdin, M. Z. 2000. Effect of sulfur fertilization on oil accumulation, acetyl-CoA concentration, and acetyl-CoA carboxylase activity in the developing seed of rapeseed (*Brassica campestris L.*). *Australian Journal of Agriculture Research*. 51(8):1023-1029.
6. Alves, D. 2000. Colza-canola: una nueva alternativa de invierno. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 90:s.p. Consultado 14 mar. 2019. Disponible en https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R90/R90_51.htm
7. Asare, E.; Scarisbrick, D. H. 1995. Rate of nitrogen and sulphur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus L.*). *Field Crops Research*. 44(1):41-46.
8. Barbieri, P. A.; Sainz Rozas, H.; Echeverría, H. E. 2008. Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid

pampas of Argentina. Canadian Journal of Plant Science. 88(5):849-857.

9. Burzaco, J. P.; Ciampitti, A. I.; García, F. O. 2009. Mejores prácticas de manejo para la nutrición del cultivo de colza-canola: una revisión. Información Agronómica del Cono Sur. no. 3(13):1-8.
10. Castro, M. 2018. ¿Puede *Brassica carinata*, una nueva oleaginosa de invierno, contribuir a la diversificación del sistema agrícola? (en línea). In: Encuentro Nacional de la Mesa de Tecnología de Oleaginosos (7^o, 2018, Montevideo). Oleaginosos de invierno. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 20 mar. 2019. Disponible en http://7moencuentro.mto.org.uy/wp-content/uploads/2018/08/Presentaci%C3%B3n-Marina-Castro_15.08.2018.pdf
11. Cheema, M. A.; Malik, M. A.; Hussain, A.; Shah, S. H.; Basra, S. M. A. 2001. Effects of Time and Rate of Nitrogen and Phosphorus Application on the Growth and the Seed and Oil Yields of Canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 186(2):103-110.
12. Ciampitti, A. I.; García, F. O. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macro nutrientes y nutrientes secundarios. (en línea). Buenos Aires, IPNI. pp. 13-16. Consultado 21 mar. 2019. Disponible en <http://www.creaoeste.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Garcia-Ciampitti-Rubio-Picone-Fosforo-2009.pdf>
13. Colnenne, C.; Meynard, J. M.; Reau, R.; Justes, E.; Merrien, E. 1998. Determination of critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. Annals of Botany. 81(2):311-317.
14. Cordeiro, D. S.; Silveira, P. E.; Kichel, A. N. 1993. Resposta da *Brassica napus* a doses e épocas de aplicação de nitrogênio. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 28(10):1137-1142. Consultado 24 mar. 2019. Disponible en <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/105476>
15. Cozzoli, M. V.; Fioriti, N.; Studdert, G. A.; Domínguez, G. F.; Eiza, M. J. 2010. Nitrógeno liberado por incubación anaeróbica y fracciones de carbono en macro- y microagregados bajo distintos sistemas de cultivo. Ciencia del Suelo. 28(2):155-167.

16. Della Santa Pernas, F.; Uhlig Cuk, J. A.; Vivo Vecino, I. 2018. Respuesta de *Brassica carinata* a la fertilización nitrogenada y azufrada: desarrollo de un modelo de respuesta. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 57 p.
17. Di Ciocco, C.; Penón, E.; Coviella, C.; López, S.; Díaz-Zorita, M.; Momo, F.; Álvarez, R. 2011. Nitrogen fixation by soybean in the Pampas: relationship between yield and soil nitrogen balance. *Agrochimica*. 55(6):305-313.
18. Ernst, O.; Siri Prieto, G. 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. *Soil and Tillage Research*. 105(2):260-268.
19. _____.; _____. 2011. La agricultura en Uruguay: su trayectoria y consecuencias. *In*: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (2º., 2011, Paysandú). No se llega, si no se sabe a dónde ir. El abordaje necesario para el proceso de expansión agrícola madure en Uruguay. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 149-163.
20. Falk, K.; Tokuhisa, J.; Gershenzon, J. 2007. The Effect of Sulfur Nutrition on Plant Glucosinolate Content: physiology and Molecular Mechanisms. (en línea). *Plant Biology*. 9(5):573-581. Consultado 19 jul. 2021. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2007-965431>
21. Ferraris, G.; Salvagiotti, F.; Prystupa, P.; Gutiérrez Boem, F. 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. *In*: Congreso de la Ciencia del Suelo (19º., 2004, Paraná Entre Ríos). Trabajos presentados. *Informaciones Agronómicas*. no. 23:s.p.
22. Ferreira, G.; Ernst, O. 2014. Diagnóstico del estado nutricional del cultivo de colza (*Brassica napus*) en base a curvas de dilución de nitrógeno y azufre. *Agrociencia (Uruguay)*. 18(1):75-85.
23. Fismes, J.; Vong, P. C.; Guckert, A.; Frossard, E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *European Journal of Agronomy*. 12(2):127-141.

24. García, F. 1996. El nitrógeno en ecosistemas agrícolas. INTA. Boletín técnico no. 140. 11 p.
25. Gastal, F.; Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*. 53(370):789-799.
26. Geisler, G.; Stoy, A. 1987. Untersuchungen zum Einfluß der Bestandesdichte auf das Ertragspotential von Rapspflanzen (*Brassica napus L.*). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 159(4):232-240.
27. Gesch, R. W.; Isbell, T. A.; Oblath, E. A.; Allenc, B. L.; Archer, D. W.; Browne, J.; Hatfield, L. J.; Jabroc, D.; Kiniry, J. R.; Long, D. S.; Vigil, M. F. 2015. Comparison of several *Brassica* species in the north central U.S. for potential jet fuel feedstock. (en línea). *Industrial Crops and Products*. no. 75(B):2-7. Consultado 8 jul. 2019. Disponible en https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/30980500/Comparison_of_several_Brassica_species.pdf
28. Gómez, N. V.; Miralles, D. J. 2006. Colza. *In*: de la fuente, E. B.; Gil, A.; Gimenez, P. I.; Kantolic, A. G.; López Pereira, M.; Ploschuck, E. L.; Sorlino, D. M.; Vilariño, M. P.; Wassner, D. F.; Windauer, L. B. eds. *Cultivos industriales*. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 183-216.
29. González Montaner, J.; Di Napoli, M. 2009. Manejo de la fertilización en cultivos de cosecha fina en el contexto actual de relaciones de precios y situación financiera de las empresas en la zona Mar y Sierras. *In*: Simposio de Fertilidad 2009 (2009, Rosario). *Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos*. Rosario, Santa Fe, Argentina, Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Agrarias. pp. 35-48.
30. Grant, C. A.; Bailey, L. D. 1993. Fertility management in canola production. *Canadian Journal of Plant Science*. 73(3):651-670.

31. Greenwood, D. 2001. Modeling N response of field vegetable crops grown under diverse conditions with N_{able}: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 24(11):1799-1815.
32. Hocking, P. J.; Kirkegaard, J. A.; Angus, J. F.; Gibson, A. H.; Koetz, E. A. 1997a. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. I. Effects of nitrogen fertilizer on dry-matter production, seed yield and seed quality. *Field Crops Research*. 49(2):107-125.
33. _____; Randall, P. J.; Demarco, D. 1997b. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects. *Field Crops Research*. 54(3):201-220.
34. Iriarte, L. B. 2002. Colza: cultivares, fecha de siembra, fertilización. Tres Arroyos, INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. 4 p.
35. Janzen, H. H.; Bettany, J. R. 1984. Sulfur nutrition of rapeseed II: effect of time of sulfur application. *Soil Science Society of American Journal*. 48(1):107-112.
36. Justes, E.; Mary, B.; Meynard, J.; Machet, J.; Thelier-huches, L. 1994. Determination of a critical Nitrogen Dilution Curve for Winter wheats crops. (en línea). *Annals of Botany*. 74(4):397-407. Consultado 25 mar. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1994.1133>
37. Kirkegaard, J. A.; Lilley, J. M.; Brill, R. D.; Ware, A. H.; Walela, C. K. 2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). (en línea). *Field Crops Research*. 222(15):180-188. Consultado 25 mar. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.018>
38. Kumar, S.; Verma, S. K.; Singh, T. K.; Singh, S. 2011. Effect of nitrogen and sulphur on growth, yield and nutrient uptake by Indian mustard (*Brassica juncea*). (en línea). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 81(2):145-149. Consultado 27 mar. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/290040087_Effect_of_nitrogen_and_sulphur_on_growth_yield_and_nutrient_uptake_by_Indian_mustard_Brassica_juncea_under_rainfed_condition

39. Lemaire, G.; Meynard, J. M. 1997. Use of the Nitrogen Nutrition Index for the Analysis of Agronomical Data. (en línea). In: Lemaire, G. ed. Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. Heidelberg, Springer. pp. 45-55. Consultado 27 mar. 2019. Disponible en DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-60684-7_2
40. _____; Jeuffroy, M. H.; Gastal, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: theory and practice for crop N management. (en línea). European Journal of Agronomy. 28(4):614-624. Consultado 27 mar. 2019. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005>
41. López Berocay, S.; Verocai Britos, M. L. 2016. Ajuste de la fertilización nitrogenada y azufrada en relación a los indicadores objetivos de suelo y/o planta. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
42. Malagoli, P.; Laine, P.; Rossato, L.; Ourry, A. 2005. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest. Annals of Botany. 95(5):853-861.
43. Malhi, S.; Gan, Y.; Raney, J. 2007. Yield, seed quality, and sulfur uptake of brassica oilseed crops in response to sulfur fertilization. Agronomy Journal. 99(2):570-577.
44. Martino, D. L.; Ponce De León, F. 1999. Canola: una alternativa promisoriosa. Montevideo, INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 105).
45. Mazzilli, S.; Hoffman, E. 2010. Respuesta a la fertilización con azufre en el cultivo de colza-canola en suelos del litoral Norte de Uruguay. (en línea). Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 46:18-21. Consultado 15 feb. 2019. Disponible en <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2010/06/18.pdf>
46. _____; Elizarzú, A.; Locatelli, A. 2014. Desarrollo tecnológico de la colza en Uruguay. (en línea). In: Simposio Latino Americano de Canola (1º., 2014, Passo Fundo, RS, BR). Memorias. Brasília, EMBRAPA Trigo. s.p. Consultado 25 abr. 2019. Disponible en [http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Mazilli%20-%20Desarrollo...%20\(%20Investigacion\)%20de%20la%20colza%20en%20Uruguay..pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Mazilli%20-%20Desarrollo...%20(%20Investigacion)%20de%20la%20colza%20en%20Uruguay..pdf)

47. _____.; Abbate, S.; Silva, H.; Mendoza, Y. 2020. *Apis mellifera* visitation enhances productivity in rapeseed. (en línea). Journal of Apicultural Research. 59:1-9. Consultado 18 mar. 2021. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1856558>
48. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018. Anuario estadístico agropecuario 2018. (en línea). Montevideo. 218 p. Consultado 25 abr. 2019. Disponible en https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2018/Anuario_2018.pdf
49. Miller, P. R.; Angadi, S. V.; Androsoff, G. L.; Mcconkey, B. G.; Mcdonald, C. L.; Brandt, S. A.; Cutforth, H. W.; Entz, M. H.; Volkmar, K. M. 2003. Comparing Brassica oilseed crop productivity under contrasting N fertility regimes in the semiarid northern Great Plains. Canadian Journal of Plant Science. 83(3):489-497.
50. Mingeau, M. 1974. Comportement du colza e printemps a la sécheresse. Informations Techniques. 36:1-11.
51. Murphy, G. M.; Pascale, N. C. 1989. Agroclimatología de la colza de primavera (*Brassica napus* L. ssp oleifera (Metz) Sinsk F. annua) y su posible difusión en la Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía (UBA). 10(3):159-176.
52. Newbould, P. 1989. The use of nitrogen fertiliser in agriculture. Where do we go practically and ecologically? (en línea). Plant and Soil. 115(2):297-311. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02202596>
53. Orlovius, K. 2003. Oilseed rape. In: Kirbky, E. A. ed. Fertilizing for High Yield and Quality. Kassel, Germany, International Potash Institute. pp. 45-125. Disponible en <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/No%2016%20Oilseed%20rape.pdf>
54. Peltonen-Saino, P.; Jauhiainen, L. 2008. Association of growth dynamics, yield components and seed quality in long-term trials covering rapeseed cultivation history at high latitudes. Field Crops Research. 108(1):101-108.

55. Pinkerton, A. 1998. Critical sulfur concentrations in oilseed rape (*Brassica napus*) in relation to nitrogen supply and to planta age. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 38(5):511-522.
56. Planchón Guigou, M. E.; Figares Espósito, H. J. 2004. Fertilización en colza-canola (*Brassica napus* L.) fenología y época de siembra en cultivares de *B. napus*, *B. rapa* y *B. juncea*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 179 p.
57. Pouzet, A. 1995. Agronomy. In: Kimberr, D.; Mc. Gregor, D. I. eds. *Brassica oilseeds, production and utilization*. Wallingford, UK, CABI. pp. 44-79.
58. Pozzolo, O.; Ferrari, H.; Curró, C. 2008. Colza canola implantación. (en línea). Concepción del Uruguay, s.e. s.p. Consultado 5 may. 2019. Disponible en <http://www.agritotal.com/0/vnc/nota.vnc?id=1535>
59. Rathke, G. W.; Christen, O.; Diepenbrock, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*. 94(3):103-113.
60. Rava, C.; Souto, G. 2018. Colza, ¿una nueva opción de exportación? (en línea). MGAP. Estudios de Economía Agraria y Ambiental. no. 17-01. 24 p. Consultado 21 mar. 2019. Disponible en https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/e_17_01_colza-souto_rava.pdf
61. Reussi, N.; Echeverría, H. E.; Sainz Rozas, H. 2012. Stability of foliar nitrogen: sulfur ratio in spring red wheat and sulfur dilution curve. *Journal of Plant Nutrition*. 35(7):990-1003.
62. Rondanini, D. P.; Gomez, N. V.; Agosti, M. B.; Miralles, D. J. 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European Journal of Agronomy*. 37(1):56-65.
63. Rubio, G.; Scheiner, J. D.; Taboada, M. A.; Lavado, R. S. 2007. Distribución de nitrógeno, fósforo y azufre en un cultivo de colza:

efectos sobre el ciclado de nutrientes. *Ciencia del Suelo*. 25 (2):189-194.

64. Salvagiotti, F.; Cassman, K. G.; Specht, J. E.; Walters, D. T.; Weiss, A.; Dobermann, A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. *Field Crops Research*. 108(1):1-13.
65. _____; Castellarín, J. M.; Miralles, D. J.; Pedrol, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113(2):170-177.
66. Sarandón, S. J.; Chamorro, A.; Bezus, R.; Gianibelli, M. C. 1993. Respuesta de la colza (*Brassica napus L* var. oleífera) a la fertilización nitrogenada. Efecto sobre la producción de biomasa, rendimiento de semilla y sus componentes. *Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)*. 69(1):63-67.
67. Scott, R. K.; Ogunremi, E. A.; Irvins, J. D.; Mendham, N. J. 1973. The effect of fertilizers and harvest date by growth and yield of oilseed rape sown in autumn and spring. (en línea). *Journal Agricultural Science (Cambridge)*. 81(2):287-293. Consultado 17 mar. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600058949>
68. Seepaul, R.; Bliss, C. M.; Wright, D. L.; Marois, J. J.; Leon, R.; Dufault, N.; George, S.; Olson, S. M. 2016. Carinata, the Jet Fuel Cover Crop: 2016 Production Recommendations for the Southeastern United States. (en línea). Gainesville, FL, University of Florida. IFAS. s.p. Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <http://edis.ifas.ufl.edu/aq389>
69. Si, P.; Walton, G. H. 2004. Determinants of oil concentration and seed yield in canola and Indian mustard in the rainfall areas of western Australia. *Australian Journal of Agriculture Research*. 55(3):367-377.
70. Tamagno, L. N.; Chamorro, A. M.; Sarandon, S. J. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus L*. spp oleífera forma annua): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. (en línea). *Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)*. 104(1):25-32. Consultado 1 jun. 2019. Disponible en <https://core.ac.uk/reader/301036540>

71. Tayo, T. O.; Morgan, D. G. 1975. Quantitative analysis of growth, development and distribution of flowers and pods in oil seed rape (*Brassica napus* L.). (en línea). Journal of Agricultural Science (Cambridge). 85(1):103-110. Consultado 5 abr. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600053466>
72. Thomas, P. 1995. Canola grower's manual. (en línea). Manitoba, Canada, Canola Council of Canada. s.p. Consultado 21 abr. 2019. Disponible en <http://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower's-manual-contents>
73. Valetti, O. 1996. El cultivo de colza canola. 2ª. ed. Buenos Aires, Argentina, Chacra Experimental Integrada Barrow. pp. 5-17.
74. Wiesler, F.; Behrens, T.; Horst, W. J. 2001. The role of nitrogen-efficient cultivars in sustainable agriculture. In optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental production. (en línea). In: International Nitrogen Conference on Science and Policy (2nd., 2001, Hannover). Proceedings. The Scientific World 1(S2):61-69. Consultado 10 abr. 2019. Disponible en <https://downloads.hindawi.com/journals/tswj/2001/763414.pdf>
75. Yasari, E.; Patwardhan, A. M. 2006. Physiological Analysis of the Growth and Development of Canola (*Brassica napus* L.) Under Different Chemical Fertilizers Application. (en línea). Asian Journal of Plant Sciences. 5(5):745-752. Consultado 10 abr. 2019. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.3923/ajps.2006.745.752>
76. Zamora, M.; Massigoge, J. 2008. Fertilización de colza: respuesta a la aplicación de N y S en el centro Sur bonaerense. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (21°. , 2008, San Luis). Trabajos presentados. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina, INTA. pp. 35-61.
77. Zhao, F.; McGrath, S. P. 1994. Extractable sulphate and organic sulphur in soils and their availability to plants. Plant and Soil. 164:243-250.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Instalación de ensayo Las Cumbres, estadio B4



Anexo No. 2. Estadio C1 ensayo Las Cumbres



Anexo No. 3. Floración ensayo Las Cumbres

