



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE CANOLA
(*Brassica napus* L.) EN FUNCIÓN DE LA
FUENTE NITROGENADA**

CLAUDIA DE LOS ÁNGELES LÓPEZ ARIAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe, "**Claudia de los Ángeles López Arias**", alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor "**Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada**", por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "**Rendimiento y calidad de canola (*Brassica napus* L.) en función de la fuente nitrogenada**", y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Municipio de Texcoco, Edo. de México, a 21 de junio de 2019

Claudia de los Ángeles López Arias

Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada

La presente tesis titulada: “Rendimiento y calidad de canola (*Brassica napus* L.) en función de la fuente nitrogenada”, realizada por la alumna: Claudia de los Ángeles López Arias, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada

ASESORA



MC. María Teresa Rodríguez González

ASESOR



Dr. F. Víctor Conde Martínez

ASESOR



Dr. Adrián Quero Carrillo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2019

Rendimiento y calidad de canola (*Brassica napus* L.) en función de la fuente nitrogenada

Claudia de los Ángeles López Arias, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

La canola es un cultivo oleaginoso que fue mejorado genéticamente para lograr semilla con bajo contenido de ácido erúxico y glucosinolatos. En los últimos años este cultivo ha ganado importancia a nivel mundial, debido a su diversa gama de usos con aprovechamiento en la alimentación. El principal subproducto de este cultivo es el aceite que se obtiene a partir de la semilla, el cual es de los principales aceites vegetales para consumo humano, debido a sus propiedades nutricionales y organolépticas, tiene el nivel más bajo de grasa saturada y el segundo más alto de grasas monoinsaturadas, importantes en la prevención de enfermedades cardiovasculares y control del colesterol. La pasta obtenida después de la extracción de aceite tiene características nutricionales que favorecen la alimentación animal. El crecimiento y rendimiento del cultivo, así como la composición química de la semilla, puede estar determinada por el tipo de suelo, elementos del clima y manejo agronómico. Una de las prácticas que puede incidir en dichas características es la fuente de fertilización nitrogenada. Bajo la hipótesis de que en canola el crecimiento y rendimiento del cultivo, así como el contenido de aceite en la semilla pueden ser afectados por la fuente de nitrógeno, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la fuente de fertilizante nitrogenado sobre el área foliar, biomasa, tasa de crecimiento, rendimiento, sus componentes y el contenido de aceite en el grano. El estudio se realizó en Montecillo, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O a 2250 msnm), bajo condiciones de régimen de lluvia, con riego complementario. El clima templado (Cw), suelo de textura arcillosa, con pH 6.9 y 2% de materia orgánica. Se utilizó el cultivar "Canorte 2010" cuya siembra fue el 23 de mayo de 2017 y se cosechó en noviembre del mismo año. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno en forma de urea (U), fosfonitrato (FN) y sulfato de amonio (SA). El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Se

registraron las temperaturas máximas, mínimas y precipitación (datos proporcionados por la estación agrometeorológica del Campus Montecillo, CP (2017)); los días a ocurrencia a fases fenológicas del cultivo. Las variables evaluadas en el cultivo fueron: altura de la planta, diámetro de tallo, área foliar (integrador de área LI-COR 3100), longitud de raíz, número de racimos, número de silicuas, número de granos por silicua, peso seco individual del grano, rendimiento de grano y biomasa total o materia seca (peso seco a 80 °C en horno de secado Scorpions Scientific). Con los valores obtenidos anteriormente se calcularon los índices y tasas de crecimiento (índice de área foliar (IAF), duración del área foliar (DAF), área foliar específica (AFE), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN)). El análisis químico proximal se realizó con el grano y residuos a la cosecha. A las variables de estudio se les aplicó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión 9.4 y a las que resultaron significativas, la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Para determinar la correlación de las variables evaluadas, se aplicó un análisis de correlación de Pearson con el Software estadístico R 3.4.3. Durante el ciclo del cultivo (140 días a madurez fisiológica) la temperatura media fue de 15.7, máxima de 22.8 °C y mínima de 9.1°C. Los resultados indicaron que la aplicación de nitrógeno en sus diferentes fuentes incrementó el índice de área foliar, la tasa de crecimiento del cultivo, producción de biomasa, producción de silicuas y rendimiento de grano en relación con el testigo (sin fertilización nitrogenada), el índice de cosecha fue similar en todos los tratamientos, esto indica que la fuente de nitrógeno puede afectar la producción de materia seca del dosel, pero no la distribución y acumulación de materia seca en grano. Por otra parte, el contenido de aceite no fue afectado por los diferentes fertilizantes nitrogenados. Se encontró una relación inversa entre el contenido de proteína cruda, humedad, cenizas y lignina con el contenido de aceite. Dentro de las fuentes de nitrógeno, la fertilización con sulfato de amonio incrementó los índices y tasas de crecimiento, componentes morfológicos y fisiológicos.

Palabras Clave: Sulfato de amonio, fosfonitrato, urea, fenología, unidades calor.

Yield and quality of canola (*Brassica napus* L.) regarding to nitrogen source

Claudia de los Ángeles López Arias, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

Canola is an oleaginous crop genetically improved to reduce seed's erucic acid and glucosinolates content. In recent years this crop has gained importance worldwide, due to its diverse range of uses as feedstuff for humans. The main by-product of this crop is the oil obtained from the grain, which is one of the main vegetable oils for human consumption, due to its nutritional and organoleptic properties, it has the lowest level of saturated fats and the second highest of monounsaturated fats, important for cardiovascular diseases avoidance and control of cholesterol levels. The paste obtained after the extraction of oil has nutritional characteristics favoring animal consumption. Both growth and yield of the crop, as well as chemical composition of the seed, can be determined by the type of soil, climatic elements, and agronomic management. One of the practices that may affect these characteristics is the source of nitrogen during fertilization. Under the hypothesis that in canola the growth and yield of the crop, as well as seed's oil content may be affected by the nitrogen source, the objective of this study was to evaluate the effect of the nitrogen fertilizer source on the leaf area, total biomass, crop growth rate, yield and its components, and seed's oil content. The study was conducted in Montecillo, State of Mexico (19 ° 29'N, 98 ° 53'W at 2250 m of altitude), under rain-fed conditions and supplementary irrigation. Under temperate climate (Cw) conditions, clay-textured soil, pH 6.9 and 2% organic matter. The cultivar "Canorte 2010" was used, which was planted on May 23, 2017 and harvested in November of the same year. Treatments consisted in the application of 100 kg ha⁻¹ of nitrogen in the form of urea (U), phosphonitrate (FN) and ammonium sulfate (SA). The experimental design was a randomized block with four replications. The number of days to occur were recorded at phenological phases of the crop and climatic conditions throughout the crop cycle were registered. The variables evaluated included: plant height, stem diameter, root length, number of bunches, number of siliques, number of grains per

silique, individual dry weight of the grain, yield of grain, and total biomass. The leaf area (AF) was measured and with this information, the growth rates of the crop were calculated with the dry matter of the crop. The proximal chemical analysis was performed for both harvested grain and crop residues. To the study variables, an analysis of variance was applied with the statistical package SAS version 9.4 and to those significant, the comparison test of Tukey means ($\alpha = 0.05$) applied. To determine the correlation of the variables evaluated, a Pearson correlation analysis was applied using the statistical software R 3.4.3. During the crop cycle (140 days at physiological maturity) the average temperature was 15.7, maximum of 22.8 ° C and minimum of 9.1 ° C. The results indicate that the application of nitrogen in its different sources increased the leaf area index, the growth rate of the crop, biomass production, production of siliques and grain yield in relation to the control (without nitrogen fertilization), the index harvest was similar in all treatments, this indicates that the source of nitrogen can affect the dry matter production of the canopy, but not the distribution and accumulation of dry matter in grain. On the other hand, the oil content was not affected by the different nitrogen fertilizers. There is a proportional inverse relationship regarding crude protein content, moisture, ash and lignin with oil content. With respect to nitrogen sources, ammonium sulfate presented higher rates and growth rates, different morphological and physiological components increased, contributing in this way in the increase of grain yield.

Keywords: Ammonium sulfate, phosphonitrate, urea, phenology, heat units.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haber iluminado y guiado esta bonita etapa de mi vida

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el recurso otorgado, que hizo posible la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados especialmente al postgrado en Botánica por la oportunidad de realizar mis estudios en esta institución y contribuir en mi formación como profesionista.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, por su amistad, consejo y apoyo incondicional durante mi estancia en esta institución, agradezco las facilidades otorgadas en este proyecto.

A la M.C. María Teresa Rodríguez González, por apoyarme e impulsarme a ser mejor persona y profesionista, por todos sus consejos y tiempo brindado durante todo este tiempo para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. F. Víctor Conde Martínez, por su amistad, dedicación, tiempo y apoyo en la realización de la tesis.

Al Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo, por su disposición, observaciones y correcciones al trabajo.

Al Dr. J. Rodolfo García Nava, por su observaciones y correcciones al trabajo.

A mi familia por el gran amor que me dan, por creer en mí y por tenerme paciencia. Con su apoyo, colaboración e inspiración fue posible este gran logro

A Iván, Jonathan y Bernardo por el apoyo moral y el apoyo en campo.

A todos aquellos que siguen estando cerca de mí y que le regalan a mi vida algo de ellos.

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y salud para lograr mis objetivos, además de su infinito amor y bendiciones.

A mis padres Agustina Arias Gómez y Samuel López Gómez, pilares fundamentales de mi vida, a ellos que han motivado mi formación académica, por su tenacidad y lucha interminable, son mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos Eli, Moisés, Gabriel, Aury y Josué por ser mi fortaleza en cada paso del camino, por el apoyo incondicional, pero sobre todo por creer en mí, los amo.

A mis sobrinos Pablito e Hiram por llenar de alegría nuestras vidas, y porque ustedes también son motivo de lucha.

A Iván, gracias por darme valor y coraje cuando me sentía derrotada, por sonreír cuando pensaba que todo era tristeza, por amarme, aunque estuviese con pésimos ánimos, pero sobre todo gracias por tu amor incondicional.

A mis amigas Paola y Bety por todo lo que han hecho por mí y por los momentos agradables que pasamos. Porque recordar es volver a vivir, gracias por su amistad.

A todos aquellos que, durante mi estancia en el CP, me brindaron su confianza, palabras de fortaleza, así como comprensión y apoyo para alcanzar mis metas, los que estuvieron desde el principio y los que han estado al final, los que me dieron ánimos para continuar y que hoy celebran conmigo a todos muchas gracias.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	ix
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVO GENERAL	3
HIPÓTESIS GENERAL	3
LITERATURA CITADA	4
CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE CANOLA	6
1.1 Canola a nivel mundial y nacional	6
1.1.1 Principales países productores de canola a nivel mundial	6
1.1.2 Producción de canola en México	6
1.2 Antecedentes del cultivo de canola	8
1.3 Clasificación taxonómica	8
1.4 Descripción morfológica	9
1.5 Etapas fenológicas	9
1.6 Condiciones climáticas y edáficas	11
1.6.1 Temperatura	11
1.6.2 Requerimientos hídricos	11
1.6.3 Tipo de suelo	12
1.7 Manejo agronómico	12
1.7.1 Preparación del terreno	12
1.7.2 Siembra	13
1.7.3 Riego	14
1.7.4 Fertilización	14
1.7.5 Manejo de plagas y enfermedades	15
1.7.6 Manejo de maleza	15
1.7.7 Cosecha	16

1.7.8 Almacenamiento	16
1.8 Requerimientos nutrimentales del cultivo de canola	17
1.9 Función de los nutrimentos en el cultivo de canola (<i>Brassica napus</i> L.)	18
1.10 Importancia de los fertilizantes nitrogenados en la producción de cultivos ...	19
1.11 Principales fertilizantes con fuente nitrogenada	20
1.12 Principales usos del cultivo de canola	20
1.12.1 Producción de aceite para consumo humano	20
1.12.2 Alimentación animal	22
1.12.3 Producción de biodiesel	22
1.12.4 Otros usos	23
1.13 Literatura citada	24
CAPÍTULO II. BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE CANOLA (<i>Brassica napus</i> L.) EN FUNCIÓN DE LA FUENTE NITROGENADA	28
2.1 Resumen	28
2.2 Abstract	29
2.3 Introducción	30
2.4 Materiales y métodos	32
2.4.1 Análisis estadístico	33
2.5 Resultados y discusión	33
2.5.1 Fenología y condiciones climáticas	33
2.5.2 Unidades calor y Evapotranspiración	35
2.5.3 Rendimiento y Componentes	37
2.6 Conclusiones	40
2.7 Literatura citada	41
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CANOLA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE NITROGENADA	46
3.1 Resumen	46
3.2 Abstract	46
3.3 Introducción	47
3.4 Materiales y Método	48
3.4.1. Análisis estadístico	49
3.5 Resultados	50

3.5.1 Elementos del clima y fenología	50
3.5.2 Índice de área foliar (IAF)	52
3.5.3 Duración del área foliar (DAF)	53
3.5.4 Área foliar específica (AFE)	54
3.5.5 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	55
3.5.6 Tasa de asimilación neta (TAN).....	56
3.5.7 Biomasa total y rendimiento de grano.....	58
3.6 conclusiones.....	60
3.7 literatura citada.....	61
CAPÍTULO IV. CONTENIDO DE ACEITE Y CALIDAD DE SEMILLAS DE CANOLA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE DE NITRÓGENO	65
4.1 Resumen	65
4.2 Abstract	66
4.3 Introducción.....	66
4.4 Materiales y método	68
4.4.1 Análisis estadístico	70
4.5 Resultados y discusión.....	70
4.5.1 Composición química de semillas de canola	70
4.5.2 Composición química de la planta de canola.....	74
4.6 Conclusiones.....	76
CONCLUSIÓN GENERAL.....	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica	8
Cuadro 2. Codificación BBCH de los Estados fenológicos del cultivo de canola (<i>Brassica napus</i> L.).....	10
Cuadro 3 Absorción de nutrientes de acuerdo con el estado fenológico del cultivo de canola (<i>Brassica napus</i> L.)	17
Cuadro 4. Composición de ácidos grasos (% rango de ácidos grasos) de diversos aceites vegetales.....	21
Cuadro 5. Calidad de rastrojo de canola vs maíz, sorgo y trigo	22
Cuadro 6. Biomasa, rendimiento y componentes del cultivo de canola (<i>Brassica napus</i> L.) en función de la fuente nitrogenada.	38
Cuadro 7. Análisis de los coeficientes de correlación de Pearson	38
Cuadro 8. Suma decenal de la precipitación (PP, mm) y medias decenales de la temperatura máxima (Tmax, °C) y mínima (Tmin, °C) durante el ciclo del cultivo de canola. Montecillo Municipio de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017.....	51
Cuadro 9. Duración del área foliar (DAF, m ² día), en función de la fuente nitrogenada en canola (<i>Brassica napus</i> L.), Montecillo Municipio de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017.....	54
Cuadro 10. Composición química en base seca de semillas de canola (<i>Brassica napus</i> L.) en función de la fuente nitrogenada. Montecillo, Municipio de México, México. 2017.....	72
Cuadro 11. Análisis de correlación de las variables de estudio.....	72
Cuadro 12. Composición de residuos del cultivo de canola (<i>Brassica napus</i> L.)..	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la producción mundial de Canola. Fuente: FAOSTAT, 2016.	6
Figura 2. Principales Estados productores de Canola.....	7
Figura 3. Medias decenales de la temperatura máxima (T max, °C), media (T med, °C) y mínima (T mín, °C) y suma decenal de la precipitación (Pp, mm) y evapotranspiración (Et, mm) durante el ciclo del cultivo de canola. Fenología: S: Siembra; E: Emergencia; FH: Formación de hojas; CT: Crecimiento longitudinal del tallo principal; AOF: Aparición del órgano floral; FL: Floración; FF: Formación del fruto; MF: Madurez fisiológica ..	34
Figura 4. Unidades Calor (UC, °C), evapotranspiración del cultivo (ETc) y fenología durante el ciclo de cultivo de Canola (<i>Brassica napus</i> L.). E: Emergencia; FH: Formación de hojas; CT: Crecimiento longitudinal del tallo principal; AOF: Aparición del órgano floral; FL: Floración; FF: Formación del fruto; MF: Madurez fisiológica.....	36
Figura 5. Índice de área foliar (IAF), en función de la fuente nitrogenada en canola (<i>Brassica napus</i> L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).	53
Figura 6. Área foliar específica (AFE), en función de la fuente nitrogenada en canola (<i>Brassica napus</i> L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).	55
Figura 7. Dinámica de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), en función de la fuente nitrogenada en canola (<i>Brassica napus</i> L.). Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).....	56
Figura 8. Tasa de asimilación neta (TAN), en función de la fuente nitrogenada en canola (<i>Brassica napus</i> L.). Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).	58

Figura 9. Biomasa total en función de la fuente nitrogenada, en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada)..... 59

Figura 10. Rendimiento de grano en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada). Barras con letra similar indican que los valores son estadísticamente iguales. 60

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cultivos oleaginosos han ganado importancia considerable para la agricultura mundial e industrias asociadas (Velasco y Fernández, 2009). Como oleaginosa la canola produce uno de los mejores aceites vegetales en términos de calidad para la nutrición y la salud humana (Aguilar, 2007). El aceite de canola exhibe la mejor composición de ácidos grasos entre todos los aceites básicos. Tiene la combinación ideal del nivel más bajo de ácidos grasos saturados (6%), un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (61%) y de ácidos poliinsaturados (29%), con un alto contenido de ácidos grasos esenciales, ácido linoleico (C18:2 n-6; 20%) y α -linolénico (C18:3 n-3; 9%) y la más baja relación n 6/n 3. Sobre la base de la composición de ácidos grasos, el aceite de canola es reconocido por sus propiedades saludables para el corazón (Eskin & McDonald, 1991; Patterson, 2015). Después de que el aceite se extrae de la semilla, los cotiledones y la cáscara se procesan en un co-producto alimenticio alto en proteína, excelente como complemento en la alimentación del ganado y representa la segunda fuente de proteínas que más se vende después de la pasta de soya (Canola Council, 2009). Los principales productores de canola en el mundo son Canadá, China, India y Francia, siendo los responsables del 54% de la producción total. Otros países, entre los primeros diez son Alemania, Australia, Polonia, Reino Unido, Estados Unidos y la República Checa, con una producción de 45, 29, 22, 17, 14 y 13 millones de toneladas, respectivamente. En México la producción de canola en los últimos diez años ha ido en aumento, pasando de cinco t ha⁻¹ en 2006 a dieciséis t ha⁻¹ en 2016 (FAOSTAT, 2016). Los principales estados productores de canola son: Tamaulipas, Estado de México, Tlaxcala, Jalisco y Coahuila (SIAP, 2017). Debido a la demanda de aceite por la industria alimenticia y a la agricultura por contrato que ésta promueve, tiene buenas expectativas para su explotación comercial (Ortegòn *et al.*, 2006) . Para que la canola pueda mostrar su máximo rendimiento y sus propiedades alimenticias y nutraceuticas, es necesario que, desde su cultivo en campo, se le proporcionen los insumos indispensables para lograr la máxima expresión de su potencial, lo cual es posible en buena medida con el manejo equilibrado y efectivo de los fertilizantes, además de condiciones óptimas de riego. El rendimiento de grano en canola es el resultado de la interacción de varios factores, entre ellos la fertilización nitrogenada y densidad de población; los cuales, influyen en la formación de órganos de demanda y

por consiguiente, en el aumento de los componentes del rendimiento que determinan mayor número de granos (Escalante *et al.*, 2016). El suministro de nitrógeno es importante para mantener una producción sostenible, lo que está relacionado con el momento en que está disponible para el cultivo (Tamagno *et al.*, 1999). Entre las principales fuentes utilizadas para satisfacer los requerimientos de N en el cultivo de canola se encuentran diversos fertilizantes como urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, amoníaco anhidro (Canola council, 2017; Hocking y Stapper, 2001; Kaefer *et al.*, 2015). Kaefer (2015), destaca la importancia que tiene la elección de la dosis correcta, fuente y momento para aplicación de N, como factores importantes en la producción del cultivo. La producción y calidad de grano está determinada por las fuentes de N (Öztürk, 2010).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La canola (*Brassica napus* L.) es un cultivo oleaginoso de importancia mundial, el principal producto obtenido, es aceite de sus semillas, considerado de los mejores aceites vegetales después del aceite de oliva debido a su bajo contenido de ácidos grasos saturados y alto contenido en ácidos grasos mono y poliinsaturados.

Es un cultivo con múltiples usos, sus características nutricionales la hacen apta en la alimentación humana y animal.

El manejo agronómico y la nutrición mineral, son factores que modifican sus características físicas y químicas. Para demostrarlas es necesario analizar el efecto que se presenta en el crecimiento, rendimiento y calidad de canola. De esta forma la generación de conocimiento ayudará a productores de esta oleaginosa mejorar su producción y calidad, con relación al uso al que se destine.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la fuente de nitrógeno sobre el área foliar, la biomasa, tasa de crecimiento, rendimiento, sus componentes y la calidad de semilla en canola (*Brassica napus* L.).

OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar el efecto de la fuente nitrogenada sobre:

- La biomasa, el rendimiento de canola y sus componentes.
- Los índices de análisis de crecimiento y su relación con el rendimiento en canola.
- La composición química de la semilla y residuos de cosecha del material vegetal.

HIPÓTESIS GENERAL

El área foliar, tasa de crecimiento, biomasa, rendimiento, sus componentes y calidad de semilla en canola son afectados por la fuente de fertilizante nitrogenado.

LITERATURA CITADA

- Aguilar F. P. 2007. Canola. Una excelente alternativa para la conversión productiva en Valles Altos de México. Comité nacional sistema-producto oleaginosas.
- Canola Council 2009. Pasta de canola. Guía para la industria de forrajes. 4ª edición.
- Canola council. 2017. Canola: The perfect candidate for biodiesel and renewable diesel. [En línea] Disponible en: goo.gl/Gy12LZ
- Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez-González M.T. y Escalante-Estrada Y.I. 2016. Rendimiento, eficiencia en uso del agua en canola en función del nitrógeno y distancia entre hileras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1249-1259.
- Eskin N. A. M. & McDonald B. E. M. 1991. Canola oil. *Nutrition Bulletin*, 16 (3), 138-146
- FAOSTAT. 2016. Cultivos, Cantidades de producción de canola por país. [En línea] Disponible en: goo.gl/ubHq5B. Fecha de consulta: 8 octubre de 2018.
- Hocking PJ y Stapper M 2001. Effects of sowing time and nitrogen fertiliser on canola and wheat, and nitrogen fertiliser on Indian mustard. I. Dry matter production, grain yield, and yield components. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 623–634.
- Kaefer JE, Richart A, Nozaki MDH, Daga J, Campagnolo R y Follmann PE. 2015. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Canola response to nitrogen sources and split application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(11), 1042–1048.
- Ortegón MSA, Díaz QF, González CF y Garza I. 2006. La temperatura en la etapa reproductiva del cultivo de canola (*Brassica napus* L.). *Agricultura Técnica en México*, 32, 259–265.
- Öztürk Ö. 2010. Effects of Source and Rate of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield components and Quality of Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 132–141.
- Patterson, T. G. 2015. Canola oil: New Versions. *Trait-Modified Oils in Foods*, 93-112.

SIAP. 2017. Estadísticas de producción agrícola. [En línea] Disponible en: goo.gl/xV1RnN. Fecha de consulta 8 octubre de 2018.

Tamagno LN, Chamorro AM y Sarandón SJ. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. spp oleifera forma annua): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 104(1), 25–34.

Velasco L y Fernandez MJM. 2009. Other Brassicas. En J. Vollman y I. Rajcan (Eds.), Oil crops (pp. 127–153).

CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE CANOLA

1.1 Canola a nivel mundial y nacional

1.1.1 Principales países productores de canola a nivel mundial

Los principales productores de canola en el mundo son Canadá, China, India y Francia, siendo los responsables del 54% de la producción total. Otros países, entre los primeros diez son Alemania, Australia, Polonia, Reino Unido, Estados Unidos y la República Checa, con una producción anual de 45, 29, 22, 17, 14 y 13 miles de toneladas, respectivamente. México no representa el uno por ciento de la producción mundial, teniendo una producción de 16 mil toneladas anuales (ocupa 41° lugar en producción) (Figura 1.).

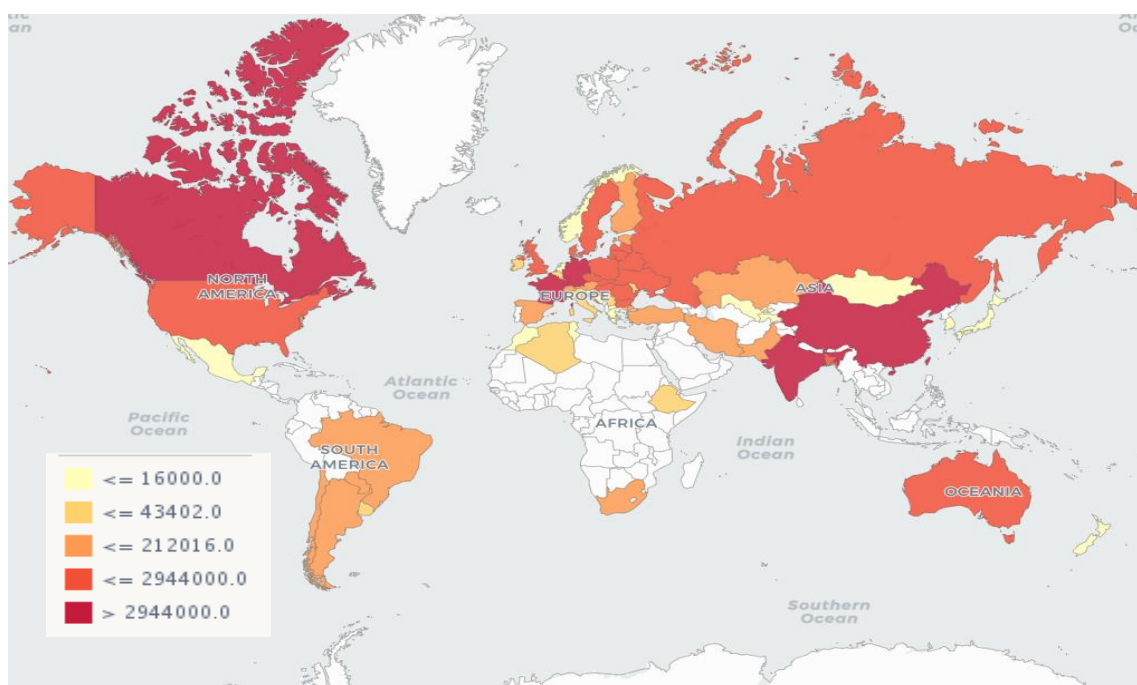
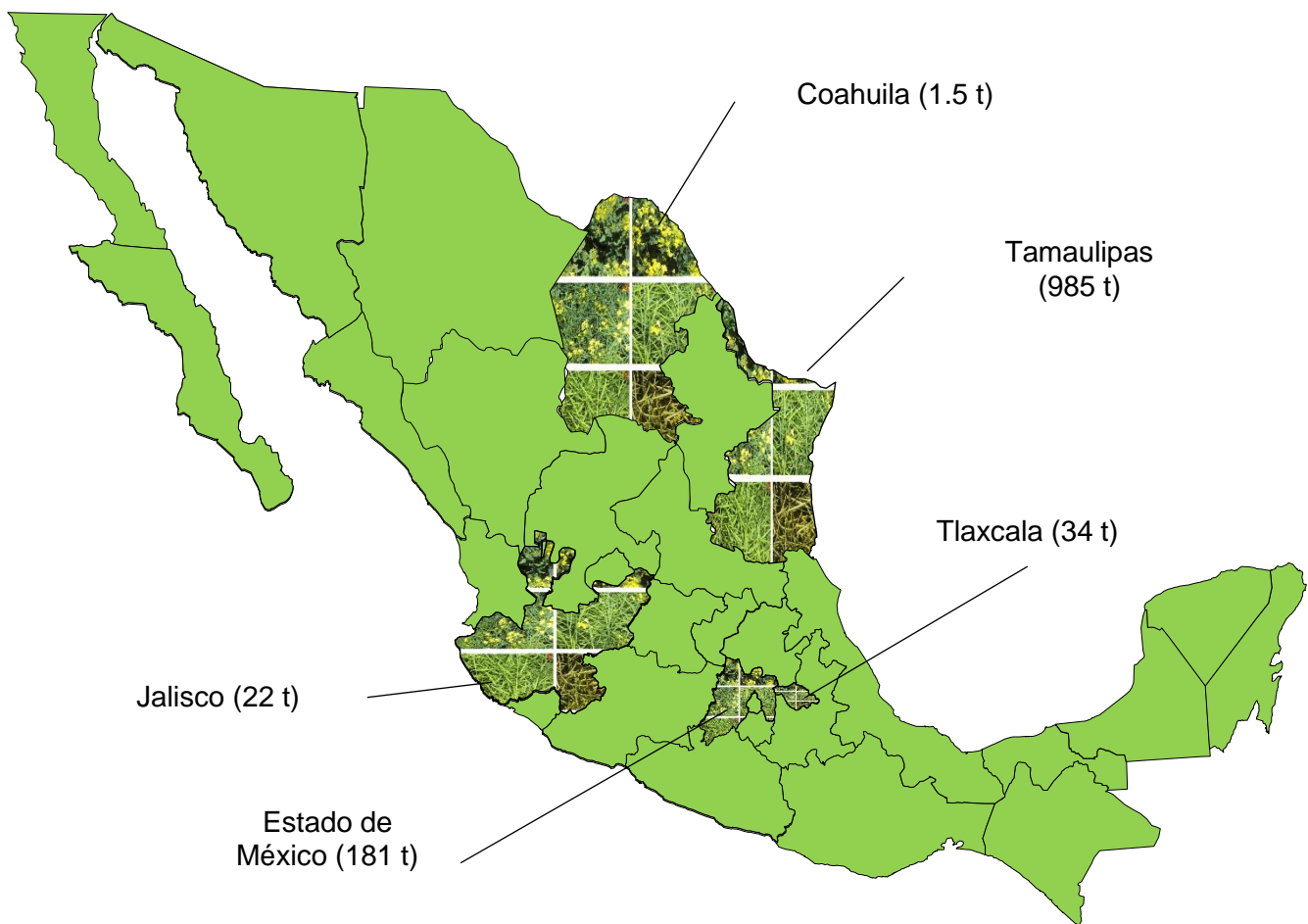


Figura 1. Distribución de la producción mundial de Canola. Fuente: FAOSTAT, 2016.

1.1.2 Producción de canola en México

La producción de canola en los últimos diez años ha ido en aumento, pasando de cinco $t\ ha^{-1}$ en 2006 a 16 $t\ ha^{-1}$ en 2016 (FAOSTAT. 2016). Los principales estados

productores de canola en 2017 fueron: Tamaulipas, Estado de México, Tlaxcala, Jalisco y Coahuila los cuales tienen un volumen de producción de 985, 181, 34, 22 y 1.5 t, respectivamente. Donde el estado de México y Coahuila tienen mayores rendimientos, 1.73 y 1.50 t ha⁻¹ con respecto a los estados antes mencionados (Figura 2).



Fuente: Elaborado con datos de la SIAP, 2017

Figura 2. Principales Estados productores de Canola

1.2 Antecedentes del cultivo de canola

La canola (*Brassica napus* L.) es una oleaginosa desarrollada a partir del mejoramiento genético (Calzada *et al.*, 2017).

En 1973 los mejoradores buscaron variedades con bajos porcentajes de ácido erúxico, ya que este es tóxico y entraña riesgos para la salud humana, obteniendo cultivares “cero” erúxico, que recibió en Canadá el nombre de “Canbra”. Pero a partir de 1984 se intentó mejorar esta variedad, con bajos contenidos de glucosinolatos, denominada “Canola: Canadian Oil Low Acid”, que es por lo tanto, una colza “doble cero”, sin ácido erúxico y bajo contenido o exento de glucosinolatos (Moradillo, 2011). Tiene bajo contenido de ácido erúxico <2 % y glucosinolatos <30 micromoles / g de semilla entera (Patterson, 2015).

Estas características hacen que el aceite de canola obtenido a partir de sus semillas tenga características deseables al consumidor. Este aceite destaca como uno de los mejores aceites vegetales por su relación en la composición de ácidos grasos, poseyendo menores niveles de grasas saturadas y mayores niveles de grasas monoinsaturadas, además de alto contenido de vitamina E y omega 3 (Angelotti-Mendonça *et al.*, 2016).

1.3 Clasificación taxonómica

Cuadro 1. Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliosida
Orden	<i>Brassicales</i>
Familia	<i>Brassicaceae</i>
Genero	<i>Brassica</i>
Especie	<i>B. napus</i>

Fuente: CONASIPRO, 2005

1.4 Descripción morfológica

Una planta de canola bien desarrollada produce aproximadamente de 10 a 15 hojas principalmente glabras (lisas) (Colton y Sykes, 1992), con hojas más bajas, limapinnatífida (hojas divididas transversalmente en lóbulos con un lóbulo terminal agrandado y lóbulos laterales más pequeños, la división entre lóbulos es casi o hasta la mitad de la costilla), escasamente erizado y peciolado (Hoja con tallo que se une al tallo principal). Las hojas medias y superior son oblongo-lanceoladas, más gruesas, abultadas y sésiles (sin un peciolo) (Bailey, 1976). El color de la hoja es un verde azulado oscuro (glauco). Las flores de canola son bisexuales y se desarrollan en racimos terminales. Las flores son regulares con cuatro sépalos y cuatro pétalos. Los pétalos amarillos, diagonalmente opuestos, se estrechan en el extremo basal del extremo basal y forman una cruz, lo que explica el nombre original de familia, Cruciferae (ahora Brassicaceae) (OCDE 1997). Las semillas se desarrollan en un cuerpo fructífero bicelular encapsulado, con vena media prominente encapsulado llamado silicua (Bailey 1976).

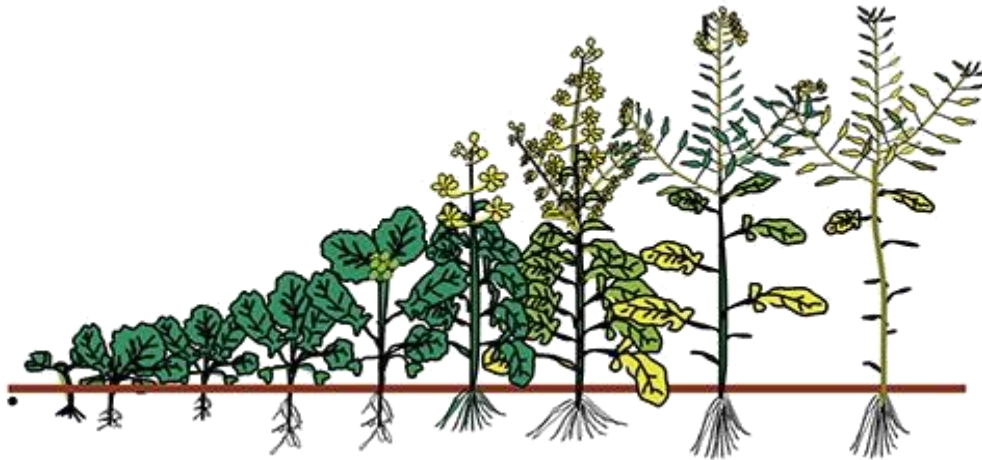
1.5 Etapas fenológicas

El crecimiento y desarrollo de una planta de canola es continuo, pero se puede dividir en etapas de crecimiento fácilmente reconocibles. La duración de cada etapa de crecimiento está muy influenciada por la temperatura, humedad, luz (duración del día), nutrición y variedad (Canola Council, 2017). La escala extendida de BBCH proporciona un enfoque preciso y simplificado para la identificación de estadios de crecimiento de la canola (Cuadro 2).

Cuadro 2. Codificación BBCH de los Estados fenológicos del cultivo de canola (*Brassica napus* L.)

Código	Descripción
0	Germinación
1	Desarrollo de las hojas
2	Formación de brotes laterales
3	Crecimiento longitudinal del tallo principal.
5	Aparición del órgano floral
6	Floración
7	Formación del fruto
8	Maduración de frutos y semillas
9	Senescencia

Fuente: Enz y Dachler, 1998



Fuente: Miralles, 2017

Conocer las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de canola nos permite saber cuáles son los estados fenológicos críticos y el momento adecuado para la aplicación de nutrimentos en función de la etapa de crecimiento del cultivo, lo cual puede mejorar la eficiencia del cultivo, evitar daños al este y pérdidas económicas.

1.6 Condiciones climáticas y edáficas

1.6.1 Temperatura

Este cultivo no soporta temperaturas inferiores a -2 °C desde la germinación hasta el estado de cuatro hojas, pudiendo resistir después temperaturas de hasta -10°C en estado de roseta. Las bajas temperaturas y días cortos retrasan su maduración (IFAPA, 2009).

Temperaturas entre 5 ° C y 25 ° C son ideales para el cultivo, siendo que temperaturas por debajo de 5 ° C provocan la inhibición de la germinación y emergencia de plántulas, así como por encima de 25 ° C causan estrés térmico y fallas en el florecimiento y fructificación. Las altas temperaturas reducen el período de floración y maduración, además de afectar la viabilidad del grano de polen y la receptividad de las flores, traduciéndose en menores rendimientos (Angelotti-Mendonça *et al.*, 2016).

1.6.2 Requerimientos hídricos

La semilla de canola necesita absorber una gran proporción de su peso en agua para germinar. Por esto, es un cultivo particularmente sensible a la falta de humedad en el suelo en la siembra, pudiendo esta situación ocasionar germinaciones y/o emergencias pobres o disparejas. En general un adecuado suministro de agua promueve un crecimiento radical rápido y amplio con abundante área foliar.

Deficiencias de agua en estados tempranos de crecimiento vegetativo reducen la expansión foliar y el crecimiento radical. De esta manera se ve afectada la absorción de agua y nutrientes, y la producción de materia seca en ese momento y en el futuro (Brown *et al.*, 2009).

Las necesidades de agua se cifran en torno a 450-500 mm a lo largo de su ciclo del cultivo. Muy sensible al encharcamiento prolongado (IFAPA, 2009). El estado de floración a madurez es el periodo más sensible a la falta de agua, particularmente entre el inicio de la floración y la formación de las primeras silicuas (Nuphy y Pascale, 1998).

1.6.3 Tipo de suelo

La canola es relativamente poco exigente en cuanto a las condiciones físicas del suelo en que se desarrolla. No obstante, es muy sensible a la compactación (Morelli y Souto, 1992; Pouzet, 1995).

Se desarrolla considerablemente bien en diferentes tipos de suelo, aunque crece mejor en suelos profundos y de textura franca. Este tipo de suelos ofrece la posibilidad de ser una cama de siembra sin encostramiento ni endurecimiento, con lo que se garantiza buena germinación y emergencia de planta; con ello, se tendrá un buen establecimiento y sobre todo uniforme, por lo que compite fuertemente a la maleza. Es medianamente tolerante a salinidad; sin embargo, el pH óptimo para su crecimiento se considera entre 6.0 y 7.5. En suelos ácidos la producción de grano se ve mermada substancialmente. En suelos alcalinos se ve restringido el crecimiento de raíz (Fundación Hidalgo Produce, A.C., 2008).

1.7 Manejo agronómico

Para un manejo eficiente del suelo, el agricultor mejorará las características deseables del mismo con buenas prácticas agrícolas. Estas prácticas deberán ser técnicamente comprobadas, económicamente atractivas, ambientalmente seguras, factibles en la práctica y socialmente aceptables, para asegurar una productividad elevada y sostenible (Reetz, 2000).

1.7.1 Preparación del terreno

El mejor momento en el que se debe sembrar la canola es cuando existe humedad en el terreno. La semilla de canola es demasiado pequeña, lo que hace que deba ser sembrada superficialmente y para ello es recomendable preparar muy bien el terreno, garantizando que no existan aglomerados de suelo que dificulte la emergencia de la planta (Fundación Hidalgo Produce A. C, 2008).

Así, las labores del cultivo estarán en función del tipo de suelo y topografía, este cultivo es adaptable en gran parte de los suelos de Valles Altos de México; sin

embargo, su éxito depende en gran medida de la preparación del terreno, por lo cual es importante la obtención de la mejor cama de siembra; un suelo bien desterronado, se logra a través de barbecho, el cual consiste en voltear la capa arable del suelo mediante la utilización de arados y exposición al sol de las capas profundas del horizonte de 0 a 30 cm de profundidad, con la finalidad de incorporar los residuos de cosecha para su descomposición, así como exponer insectos en su etapa invernante, a las inclemencias del tiempo para su destrucción; además de favorecer la captación y almacenamiento de humedad. Después del barbecho y días antes de iniciar la siembra se da un paso de rastra o dos si el suelo presenta muchos terrones, esto con el fin de homogeneizar el suelo, pulverizar residuos orgánicos y afinar la capa arable, el número de pasos de rastra dependerá de las condiciones del suelo, del cultivo anterior y de la cantidad de equipo disponible (Rincón, 1981; García *et al.*, 2013).

Surcado: Debido al tamaño de la semilla de canola es muy pequeño, se sugiere realizar el surcado con cinceles de la cultivadora que se usa para la escarda del maíz a una distancia entre surcos entre 0.80 m (Cepeda y Gómez, 2010).

Estas prácticas cambian de acuerdo con el tipo de suelo; una buena realización de estas permite tener humedad uniforme en el terreno, una buena emergencia y por consiguiente un mejor rendimiento (Rincón, 1981).

1.7.2 Siembra

Hay que tomar en cuenta las condiciones de la localidad donde se sembrará. Principalmente en lo que se refiere a la presencia de las primeras heladas, que pueden afectar severamente el rendimiento de grano cuando la planta está en las primeras etapas de floración o formación de grano en las silicuas tiernas (Cepeda y Gómez, 2010). La siembra debe realizarse lo más temprano posible, y cuando el terreno tenga buen contenido de humedad, de acuerdo con el establecimiento de la época de lluvias (Rincón, 1981).

En el Valle de México, la mejor época de siembra para variedades tardías es durante la segunda quincena de mayo; y para precoces durante la segunda quincena de

junio y primera de julio. En el Valle de México, la mejor época de siembra para variedades tardías es durante la segunda quincena de mayo; y para precoces, durante la segunda quincena de junio y primera de julio.

La siembra se puede hacer de forma manual a “chorrillo”, depositando la semilla en el fondo del surco, y cubriéndola ligeramente con una capa de suelo de 1 a 2 cm de grosor (Rincón, 1981).

1.7.3 Riego

Como la siembra de canola se realiza en seco, se recomienda que el riego de emergencia sea pesado con una lámina de 18 a 20 cm, lo que permite que la humedad suba hasta la parte del surco donde se encuentra la semilla para asegurar una buena emergencia de plántula. Normalmente se sugiere un calendario de riego de 0-50-80-100, lo cual puede variar dependiendo del contenido de arcilla que tenga el suelo y las condiciones climatológicas que prevalezcan en la región de desarrollo del cultivo (Cepeda *et al.*, 2010).

Dos o tres riegos con un total de agua aplicada entre 120-200 mm pueden ser suficientes para un máximo rendimiento de grano, teniendo en cuenta que aproximadamente el 30% de agua debe ser aplicada desde la emergencia hasta el inicio de la floración y el 70% restante, desde el inicio de la floración hasta la maduración (IFAPA, 2009).

1.7.4 Fertilización

La fertilización es necesaria para proporcionar los elementos nutritivos en las cantidades y en el momento en que sean requeridos por el cultivo. Estos elementos nutritivos se suministran a las plantas mediante productos fertilizantes, bajo una dosis de fertilización. La dosis de fertilización se refiere a la cantidad de nutrientes que se deben aplicar para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo y por lo regular, se expresa como unidad fertilizante de los elementos mayores nitrógeno, fósforo y potasio. Para determinar la dosis de fertilización a aplicar es recomendable realizar un análisis de suelo antes de la siembra.

Se sabe que las especies productoras de aceite no son exigentes en cuanto a la demanda de nitrógeno; sin embargo, para la canola es importante mantener un buen equilibrio entre los elementos, nitrógeno, fósforo y azufre en el suelo (García *et al.*, 2013).

Las recomendaciones de fertilización para condiciones de temporal estricto que oscile entre 500 y 600 mm de precipitación anual, es mediante la formulación de 90-40-00 (Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)). Aunque si las precipitaciones son menores, es recomendable utilizar una fórmula económica como 60-40-00. Generalmente se aplica la mitad del nitrógeno al momento de la siembra y todo el fósforo y el resto en la primera escarda (Fundación Hidalgo Produce A. C, 2008).

1.7.5 Manejo de plagas y enfermedades

Las enfermedades que se consideran que se presentan en el cultivo de la colza son chahuistle blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*), mildiu polvoriento (*Oidium mangiferae*) y alternaría, las cuales hasta la fecha no se consideran de importancia económica en México.

Las principales plagas que se presentan en el cultivo durante su ciclo reproductivo son: Frailecillo (*Macrodactylus* spp), Botijón (*Epicauta* sp.), Pulgones (*Brevicoryne brassicae*), chinche (*Lygus* sp.), pulga saltona (*Phyllotreta* sp.), gusano de la col (*Trichoplusia ni*) (Cepeda y Gómez, 2010).

1.7.6 Manejo de maleza

El cultivo debe mantenerse libre de maleza durante los primeros días después de la emergencia, ya que durante este periodo la competencia por luz y nutrimentos es más fuerte, lo cual hace más lento su desarrollo (Rincón, 1981). Debido a que el crecimiento de la canola post emergencia es muy lento (más aún si la temperatura es baja), no puede competir con la maleza, lo que hace necesario realizar escardas para eliminarlas e indirectamente aflojar el suelo y acercarle tierra a la planta. Regularmente se recomienda que se realicen dos escardas, la primera alrededor de los 25 días después de la siembra (aquí no se recomienda acercar tierra a la planta),

una vez que la plántula haya alcanzado de seis a 15 cm de altura y la segunda, cuando alcance de 30-40 cm (regularmente de 15 a 20 días después de la primera). Una vez que la planta va creciendo, va ramificando y con ello se cubren los espacios libres entre surcos, generando sombra con ello y dificultad para el crecimiento de maleza, de igual forma, al acercarse a la madurez de la planta, las hojas van cayendo en estos espacios formando así una capa que tiene la misma función (Fundación Hidalgo Produce A. C, 2008).

1.7.7 Cosecha

La cosecha de canola presenta problemas debido a la dehiscencia de sus frutos. La maduración de sus frutos no es uniforme, pero no se puede esperar a que todos estén maduros porque los primeros tienden a abrirse y con ello disminuye el rendimiento. Es conveniente realizarla cuando las silicuas presentan coloración crema pajiza y el grano adquiere un color marrón oscuro. Es recomendable realizar muestreos para conocer el grado de madurez (Fundación Hidalgo Produce A. C, 2008). Si se cuenta con un determinador de humedad, se deben realizar muestreos al azar en la parcela y obtener una muestra compuesta. El nivel máximo de humedad que debe tener el grano para la cosecha es de 10 y máximo el 12 %, debido a que la industria aceitera lo recibe como máximo al 9% para evitar ser sancionado, sin embargo si se cosecha con menor humedad se pierde rendimiento por el peso de grano y además al paso de la maquina trilladora se corre el riesgo de que se abran las silicuas y el grano se tire (Cepeda y Gómez, 2010).

Se recomienda realizar la cosecha por la mañana, cuando las silicuas se encuentran húmedas, o por la tarde, evitando las horas de más calor que es cuando el desgrane es mayor, de esta manera se evitará la pérdida de semilla por el impacto del corte (IFAPA, 2009).

1.7.8 Almacenamiento

La semilla puede almacenarse igual que los cereales, pero cuidando que la humedad en la semilla sea hasta de 10 por ciento, el almacén tenga una buena ventilación y la temperatura no sea alta (Rincón, 1981).

1.8 Requerimientos nutrimentales del cultivo de canola

La producción rentable de canola depende en gran medida de la nutrición vegetal adecuada, que a su vez se ve afectada por el manejo de la fertilidad del suelo. Además, el nivel nutricional de la planta afectará la respuesta del cultivo a factores de estrés tales como enfermedades y clima adverso. El manejo equilibrado y efectivo de los fertilizantes no solo contribuye al rendimiento rentable de canola, sino que también ayuda a mantener la productividad de los recursos del suelo (Canola Council^b, 2017).

Cuando se diagnostican las necesidades de fertilización de los cultivos es importante conocer el requerimiento de nutrientes para alcanzar un determinado rendimiento objetivo. Estos requerimientos varían de acuerdo con el estado fenológico, el nivel de producción y ambiente (IPNI, 2002; Cuadro 3).

Cuadro 3 Absorción de nutrientes de acuerdo con el estado fenológico del cultivo de canola (*Brassica napus* L.)

Estado fenológico	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
	Lbs/día			
Emergencia-5 hojas	0.77	0.14	0.88	0.11
5 hojas- primera flor	3.85	0.66	5.53	0.68
Primera flor-50% flores	3.46	1.01	4.44	1.17
50% floración-fin de la floración	0.96	0.57	0.83	0.69
Final de la floración- 50% silicuas	0.92	0.48	0.77	0.65
50% silicuas a silicuas completas	0.05	1.08	1.81	0.50
Silicuas completas-cosecha	0.05	0.14	0.14	0.05

Fuente: Johnston *et al.*, citado por: Canola Council^b, 2017

1.9 Función de los nutrimentos en el cultivo de canola (*Brassica napus* L.)

Nitrógeno (N): Forma parte de muchos componentes críticos de la planta: aminoácidos, proteínas (que forman enzimas), material genético (nucleótidos y ácidos nucleicos) y otros componentes que se encuentran en membranas (como aminos), coenzimas y otros. La mayoría del N en el tejido vegetal verde está presente como proteína enzimática en los cloroplastos donde se encuentra la clorofila. A postcosecha, la mayoría del nitrógeno se encuentra como proteína de la semilla. Las proporciones relativas de N en la planta cambian con el tiempo y estado fenológico. El nivel de N es más alto en la etapa de plántula, cuando las hojas jóvenes son la mayoría de la materia seca de la planta. A medida que la planta crece y alcanza la etapa de floración, el nivel general de N disminuye debido a la pérdida de hojas.

Fósforo (P): Aunque es un importante macronutriente vegetal, solo se requiere en pequeñas cantidades en comparación con el N. Funciona en la planta como elemento estructural y también en transferencia de energía. Forma parte de los ácidos nucleicos (los componentes básicos del ADN) y fosfolípidos, que son componentes importantes de la membrana. Participa en la síntesis de proteínas. Constituyente del ATP, el cual es el principal compuesto de energía de fosfato utilizado para la síntesis de almidón y absorción de nutrientes. El nivel de P es más alto en el material vegetativo joven y en la semilla de canola. Al llegar a la madurez fisiológica, la mayor parte del P en la planta se almacena en forma orgánica como fitato en el grano.

Azufre (S): Elemento que es parte estructural y enzimático, es componente clave de dos aminoácidos esenciales (cisteína y metionina) y es necesario para la síntesis de proteínas y como el P, participa en reacciones de intercambio de energía. Un grupo importante de compuestos secundarios con S son los glucosinolatos, el cual contribuye a los

sistemas de defensa o atrayentes para ciertos insectos y enfermedades. La mayor parte de la absorción en canola se produce entre el inicio de la elongación del tallo y la formación de silicuas. Estas y los granos, son los principales órganos de almacenamientos de los compuestos azufrados (Moradillo, 2011; Canola Councila, 2017; Alcantar y Trejo, 2009).

1.10 Importancia de los fertilizantes nitrogenados en la producción de cultivos

El crecimiento de los cultivos depende en gran medida de la disponibilidad de nitrógeno, el cual es absorbido por las plantas en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), para formar aminoácidos y proteínas. Los seres humanos y los animales dependen de la proteína constituida por las plantas. Por lo tanto, el uso de fertilizantes nitrogenados es esencial para alimentar a la población mundial (Schenk, 2004).

La producción agrícola depende en gran medida de que los suelos sean capaces de desarrollar cultivos con un buen rendimiento y esa capacidad es establecida por la fertilidad. El contenido de nutrientes de origen natural en los suelos generalmente no es suficiente para lograr una adecuada fertilidad, por esa razón se emplean los fertilizantes orgánicos y químicos (Pacheco y Cabrera, 2003).

Se puede considerar al nitrógeno como el principal factor de producción a la par que el agua. La fertilización nitrogenada tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo mediante aportes orgánicos o minerales necesarios para complementar lo que el mismo suelo es capaz de suministrar, dada a su fertilidad (IDEA, 2007).

Los fertilizantes nitrogenados minerales son sustancias nutritivas que en su composición química tienen nitrógeno en forma asimilable para la planta; es decir, cuando son aplicados al suelo o de manera foliar, pueden ser absorbidos por los diferentes órganos, contribuyendo así a su crecimiento y desarrollo, ya que estos aportan el nitrógeno necesario que contribuye de manera significativa al aumento

en la producción de alimentos. Algunas plantas pueden utilizar el nitrógeno atmosférico, a través de su asociación con microorganismos, pero la mayoría de los cultivos depende del suministro externo del nitrógeno, vía mineralización de la materia orgánica y/o adición de fertilizantes, para completar su ciclo de crecimiento (Cárdenas *et al.*, 2004; DANE, 2012).

1.11 Principales fertilizantes con fuente nitrogenada

Los fertilizantes nitrogenados son los fertilizantes químicos más utilizados a nivel mundial, debido a que existe una deficiencia generalizada del nitrógeno en los suelos agrícolas del mundo.

Los principales fertilizantes nitrogenados usados en la agricultura son: urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfato monoamónico (MAP) y fosfato di amónico (DAP). Varían en concentración de nitrógeno, así como sus características físico-químicas. Por lo tanto, la elección del fertilizante dependerá de las características del suelo donde se va a aplicar (principalmente el pH), disponibilidad de fuentes, tipo de cultivo y costos por unidad de N (INTAGRI, 2017).

1.12 Principales usos del cultivo de canola

1.12.1 Producción de aceite para consumo humano

Por su alto contenido de aceite en el grano (40-44%), la canola se usa principalmente como oleaginosa para la obtención de aceite comestible mediante procesos de trituración y extracción.

Como oleaginosa, la canola produce uno de los mejores aceites vegetales en términos de calidad para la nutrición y la salud humana (Aguilar, 2007).

El aceite de canola exhibe la mejor composición de ácidos grasos entre todos los aceites básicos. Tiene la combinación ideal del nivel más bajo de ácidos grasos saturados (6%), un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (61%) y de ácidos poliinsaturados (29%), con alto contenido de ácidos grasos esenciales, ácido

linoleico (C18:2 n-6) (20%) y α -linolénico (C18:3 n.3) (9%) y la más baja relación n 6/n 3 (Cuadro 4). Sobre la base de la composición de ácidos grasos, el aceite de canola es reconocido por sus propiedades saludables para el corazón. Contiene muchos compuestos únicos que pueden utilizarse como nutracéuticos con beneficios específicos para la salud. La composición de ácidos grasos del aceite de canola es similar a la de los aceites de oliva con respecto al alto nivel de ácido oleico, pero es mucho más baja en ácido palmítico y más alta en poliinsaturados, particularmente ácido linolénico (10%). Es este ácido graso insaturado el que hace que el aceite de canola sea susceptible a la rancidez oxidativa (Eskin y McDonald, 1991; Patterson, 2015).

Cuadro 4. Composición de ácidos grasos (% rango de ácidos grasos) de diversos aceites vegetales

Tipo de aceite	Composición de ácidos grasos (%AG)				Proporción	
	Saturado	MUFA	PUFA		Saturado/ insaturado	ω -6/ ω -3
OA (18:1) +otros		AL (ω -6)	ALA (ω -3)			
Semilla oleaginosa						
Canola	4-7	56-64	>19 (19-21)	>9(9-11)	0.05/0.07	1.91-2.11
Coco	85-90	5-8	0-2	-	9-17	No ω -3
Maíz	12-13	19-49	34-62	0.9-1	0.12-0.22	37.78-62
Algodón	25-27	17-35	42-55	0.30	0.30-0.42	140-183.33
Oliva	13-15	65-80	4-11	0.60	0.17-0.19	6.67-16.67
Palma	46-49	5-11	5-11	0.30	0.77-1.06	16.67-36.67
Cacahuete	12-17	13-27	13-27	-	0.18-0.20	No ω -3
Sésamo	10-14	35-45	35-45	0.20	0.13-0.15	175-225
Girasol	7-10	14-35	44-75	0.50	0.14-0.16	88-150

MUFA: ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados; OA: ácido oleico; AL: ácido linoleico; ALA: ácido alfa linolénico. Fuente: Tejas *et al.* (2016).

1.12.2 Alimentación animal

La pasta de canola y colza se usan comúnmente en forrajes en todo el mundo. Juntas representan la segunda fuente de proteínas que más se vende después de la pasta de soya. Los principales productores y usuarios de pasta de canola y colza son Australia, Canadá, China, la Unión Europea y la India.

La composición nutricional de la pasta de canola puede ser influida por condiciones ambientales durante el cultivo, las condiciones de cosecha y, en menor medida, por el cultivar y procesamiento de la semilla y la pasta. El valor de la pasta de canola en relación con otros ingredientes con proteína, como la pasta de soya, varía según el tipo de animal al que se alimenta y según el nivel de rendimiento animal (Canola Council, 2009)

Es un forraje muy aceptable para la alimentación del ganado, principalmente bovino y ovino, ya que reúne características bromatológicas superiores al rastrojo de maíz, trigo y sorgo y de una aceptable apetencia (Cuadro 5).

Cuadro 5. Calidad de rastrojo de canola vs maíz, sorgo y trigo (Canola Council, 2009)

Cultivo	Proteína cruda	Fibra cruda	Fósforo	Calcio	Grasa cruda
Canola	8.8	47	0.22	1.45	
Maíz	5.0	34	0.09	0.49	11.8
Sorgo	4.4	33	0.11	0.40	
Trigo	3.8	41	0.08	0.10	

Gracias a su buena calidad, el rastrojo de canola también se puede emplear como sustrato para la producción de champiñones y para la elaboración de composta. En sistemas de siembra directa (labranza de conservación) se puede dejar los residuos de la cosecha como fuente de materia orgánica en el suelo (Aguilar *et al.*, 2009).

1.12.3 Producción de biodiesel

Los cultivos energéticos surgen en todo el mundo, ante el aumento del precio del crudo y como consecuencia la demanda de biomasa para producción de energías

renovables. Estas energías “agro” permitirán, junto con el resto de las energías renovables, obtener un ambiente limpio y crear fuentes de riqueza (Moradillo, 2011).

El biodiesel, es un tipo de biocombustible que se puede utilizar en motores Diesel. El aceite de canola se convierte en biodiesel a través de un proceso de refinación llamado transesterificación. La canola es la materia prima perfecta para biodiesel o diesel renovable porque ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida hasta un 90% en comparación con el diésel fósil (Canola Council, 2017).

1.12.4 Otros usos

Producción de miel. La periodicidad en la producción de miel en las regiones tropicales y subtropicales está directamente relacionada con la presencia de flor de plantas silvestres. En regiones de clima templado como el Valle de Toluca-Atacomulco y Valle de México, la producción de miel de octubre a marzo se ve afectada por las bajas temperaturas, pero principalmente por la falta de flor, ya que muy pocas especies resisten y alcanzan a florecer con temperaturas inferiores a cero grados Celsius, como lo hace la canola. Su floración es muy abundante y duradera, lo que permite con programa de siembras escalonadas de temporal y riego, tener canola en floración por lo menos durante ocho meses del año en altitudes mayores de 2400 msnm como en Valles Altos de México. Es por ello por lo que es una de las plantas nectaríferas y poliníferas de mayor importancia y con potencial para incrementar la producción de miel.

Hortaliza. En el centro y sur de México se consumen ramas tiernas de nabo silvestre, los cuales se preparan cocidos o guisados. La etapa ideal para cortar dichas ramas se logra cuando la inflorescencia está a punto de iniciar la floración (Aguilar, 2007).

1.13 Literatura citada

- Aguilar F. P. 2007. Canola. Una excelente alternativa para la conversión productiva en Valles Altos de México. Comité nacional sistema-producto oleaginosas. Pp. 1-8.
- Aguilar P., Cerrero N. 2009. Calidad del rastrojo de la canola. Boletín bimestral publicado por Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosa.
- Alcántar G. G. y Trejo T. L. I. C. 2009. Nutrición de cultivos (No. Ps4246. Mundi Prensa. Pp. 93-140
- Angelotti-Mendonça, J., Baiocchi, R. L., Ferreira, S. C. D., Camargo, e C. P. R., y Kluge, R. A. 2016. Canola (*Brassica napus* L.) (Piracicaba). São Paulo: Serie Productor Rural N°. 61.
- Bailey. 1976. Hortus Third- A concise dictionary of plants cultivated in the United States and Canada. Bailey L.H., Bailey E.Z. (eds). Macmillan General Reference, New York, USA. Pp-1290.
- Brown J., Davis Jim B., Lauver M. y Wysocky D. A. 2009. Canola Growers Manual. United States Canola Association. 1-71p.
- Calzada, R. J. E., Narváez, N. J. A., Aguilar, C. R., Mely, R. C., López, S. M., Flores, L. L. F., Ornelas, R. P., Sánchez, C. E., Valencia, A. M. S., Javier, M. J. F., Bonilla, C. J. A., y Méndez, G. M. 2017. Agenda técnica agrícola de Hidalgo. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Pp. 23-25.
- Canola Council. 2009. Pasta de canola. Guía para la industria de forrajes. 4ª edición. Canadian Internacional Grains Intitute, Institut international du Canada pour le Grain, pp 1-48
- Canola Council a. 2017. Crop nutrition. [En línea] Disponible en: goo.gl/go4Fkv. Fecha de consulta: 9 septiembre de 2018.
- Canola Council b. 2017. Growth stages of the canola plant. [En línea] Disponible en: goo.gl/cgQwsb. Fecha de consulta: 9 septiembre de 2018.

- Canola Council c. 2017. Canola: the perfect candidate for biodiesel and renewable diesel. [En línea] Disponible en: goo.gl/Gy12LZ. Fecha de consulta: 9 septiembre de 2018.
- Cárdenas N. R., Sánchez Y. J. M., Farías R. R., Peña C.J. J. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 10(2):173-178p.
- Cepeda V. M. A., Gómez L. B. L., Venegas G. E. 2010. Guía para el cultivar canola bajo riego en Michoacán. Guía Técnica Núm. 1 SAGARPA, INIFAP, CIRPAC, Campo experimental Uruapan, Michoacán, México. 1-33p
- Cepeda V. M. A y Gómez L. B. L. 2010. Guía para producir canola de temporal en la región Purépecha de Michoacán. Folleto Técnico Núm. 3. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 1-36 p.
- Colton, R. T., Sykes J. D. 1992. Canola (Agfact P5.2.1). *NSW Agriculture*, 1-52p.
- CONASIPRO. 2005. [En línea] Disponible en: goo.gl/cwWGwz Fecha de consulta: 28 julio de 2018.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2012. Importancia de los fertilizantes nitrogenados (S. de I. de P. y A. del S. Agropecuario & M. de A. y D. Rural, Eds.). *Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*. 1-76 p
- Enz M. y Dachler Ch. 1998. Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas. Escala BBCH extendida. BBA, BSA, IGZ, IVA, AgrEvo, BASF y Novartis, 26-30p
- Eskin N. A. M. & McDonald B. E. M. 1991. Canola oil. *Nutrition Bulletin*, 16 (3), 138-146.
- FAOSTAT. 2016. Cultivos, Cantidades de producción de canola por país. [En línea] Disponible en: goo.gl/ubHq5B. Fecha de consulta: 8 octubre de 2018.

- Fundación Hidalgo Produce A.C. 2008. La canola en el Estado de Hidalgo, consideraciones básicas para su producción. [En línea] Disponible en: goo.gl/tct9vE. Fecha de consulta: 20 julio de 2018.
- García M. K., González A. A., Castillo T. N. 2013. Tecnología para producir Canola de temporal en las Sierras de Tapalpa y el Tigre en Jalisco. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Centro Altos de Jalisco Tepatitlán de Morelos, Jalisco. SAGARPA, INIFAP. ISBN: 978-607-37-0006-1, pp1-31.
- Instituto de investigación y formación agraria y pesquera (IFAPA). 2009. Guía de cultivo de la colza. Sevilla, España.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDEA). 2007. Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada.
- INTAGRI. 2017. Guía de Fertilizantes Nitrogenados para Cultivos. Serie Nutrición Vegetal Núm. 106. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 8p.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2002. Requerimientos nutricionales de los cultivos.
- Melgar R. y Torres D. 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Proyecto Fertilizar. INTA pergamino, Buenos Aires. 114-121p.
- Miralles J. D. 2017. Criterios y herramientas para la elección de fechas de siembra en los cereales y oleaginosas invernales. [En línea] Disponible en: cutt.ly/KtyGZ0. Fecha de consulta 20 de agosto de 2018.
- Moradillo J. L. V. 2011. El Cultivo Rentable de la Colza: como recurso sostenible del Biodiesel. Ediciones Agro-técnicas S. L. [En línea] Disponible en: goo.gl/a8qV6R. Fecha de consulta: 7 de agosto de 2018.
- Morelli J., Souto G. 1992. Canola. Un estudio de diversificación de cultivos agrícolas, alternativas de invierno. Serie Síntesis. Unidad de Diversificación Agrícola. Uruguay. 10 p.

- Nuphy G.N., Pascale N. C. 1998. Agro-climatología de la colza de invierno (*Brassica napus* L. spp. Oleifera (Metzg) Sinsk F. Biennis) y su posible difusión en Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires 9:73-90.
- OCDE. 1997. Consensus document in the biology of *Brassica napus* L. (oilseed rape). OCDE/GD (97) 63 [series on harmonization of regulatory Oversight in Biotechnology No.7]. Organization for Economic Co-operation and Development.
- Pacheco A. J., Cabrera S. A. 2003. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. Ingeniería, vol. 7 núm. 2. Pp 47-54.
- Patterson, T. G. (2015). Canola Oil: New Versions. En J. Wiley, S. Ltd, & I. of T. Food (Eds.), Trint-Modified Oils in Foods (First Edit, pp. 93–112). Chicago.
- Pouzet A. 1995. Agronomy, in Kimber D. and Mc Gregor D. I. (ed). Brassica Oilseeds, Production and Utilization. CAB International, Wallingford, UK, 394 p.
- Reetz H. F. 2000. Fertilizers and their use. Food and Agriculture Organization (FAO). International Fertilizer Association (IFA). 4th edition, pp 1-114
- Rincón C. J. I. 1981. Guía para producir Colza de temporal en los Valles Altos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto No. 187.
- Shenk M. K. 2004. Agricultural practices to minimize nitrate accumulation in edible parts of crop plants. Impacts of Agriculture on Human Health and Nutrition, Encyclopedia of Life Support Systems. EOLSS Publishers, Paris.
- SIAP. 2017. Estadísticas de producción agrícola. [En línea] Disponible en: goo.gl/xV1RnN. Fecha de consulta 8 octubre de 2018.
- Tejas P., Smrati S., Ashwini V., Vidya S. and Narendra Y. 2016. Balancing Omega-6: Omega-3 Ratios in Oilseeds. Omega 3. Fatty Acids. Springer (203).

**CAPÍTULO II. BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE CANOLA
(*Brassica napus* L.) EN FUNCIÓN DE LA FUENTE NITROGENADA**
**BIOMASS, YIELD AND COMPONENTS OF CANOLA (*Brassica napus* L.) IN
RELATION TO NITROGEN SOURCE**

2.1 Resumen

La canola es un cultivo oleaginoso que ha ganado importancia a nivel mundial, el principal subproducto de este cultivo es el aceite que se obtiene a partir del grano, el cual es de los principales aceites vegetales para consumo humano, debido a sus propiedades nutricionales y organolépticas. Dentro de los elementos minerales que pueden incrementar la producción de los cultivos destaca el nitrógeno. Se ha demostrado que este cultivo es afectado por la deficiencia de este mineral, por lo que es importante para los productores conocer además de los requerimientos básicos de dicho nutrimento, qué tipo de fuente nitrogenada usar además del tiempo de aplicación, para disminuir costos de producción y obtener mejores resultados. El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, se sembró el cultivar “Canorte 2010” en mayo de 2017 y se cosecho en noviembre del mismo año, los tratamientos a evaluar fueron la aplicación de diferentes fuentes de nitrógeno (urea, fosfonitrato y sulfato de amonio) y el testigo absoluto (sin aplicación de N), bajo un diseño experimental en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, las variables evaluadas fueron los componentes de rendimiento, rendimiento y biomasa total, a las cuales se les aplicó el análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión 9.4 y las que resultaron con diferencias significativas la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), también se realizó un análisis de correlación de Pearson con el software estadístico R 3.4.3. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la fuente nitrogenada sobre la biomasa y el rendimiento de canola y sus componentes. Las diferentes fuentes nitrogenadas aumentaron la biomasa, la altura de planta, el número de racimos, silicuas y el rendimiento en grano, siendo la canola con aplicación de sulfato de amonio donde se obtuvo más incremento, seguido por los tratamientos con suministro de fosfonitrato y urea.

Palabras Clave: Fenología, Unidades calor, Índice de cosecha, *Brassicaceae*

2.2 Abstract

Canola is an oleaginous crop achieving higher importance worldwide, the main by-product of this crop is the oil obtained from grain, one of the main vegetable oils for human consumption, due to its nutritional and organoleptic properties. Among the mineral elements that can increase crop yield, nitrogen stands out. It has been shown that this crop is affected by the deficiency of this mineral, so it is important to farmers to define in addition to the basic requirements of this nutrient, what kind of nitrogen source to use as well as the best moment for its application, to reduce the costs of production and obtain higher yields. The study was carried out in the experimental field of the College of Postgraduates, the cultivar "Canorte 2010" was planted in May 2017 and was carried out in November of the same year, the treatments were evaluated as the application of different sources of nitrogen and the absolute control (without application of N), under an experimental design in complete blocks at random, with four repetitions, the variables evaluated were the components of yield, yield and total biomass, to which the statistical analysis was applied with the statistical package SAS version 9.4 and the statistical result with significant differences in the comparison test of Tukey means ($\alpha = 0.05$), a Pearson correlation analysis is also performed with the statistical software R 3.4.3. The objective of the study was to evaluate the effect of the nitrogen source on biomass and canola yield and its components. The different nitrogenous sources increased biomass, plant height, number of bunches, siliques and the yield in grain, being the application of ammonium sulfate the one showing greater increases, followed by the treatments with phosphonitrate supply, and urea.

Keywords: Phenology, Heat Units, Harvest Index, *Brassicaceae*

2.3 Introducción

Los cultivos oleaginosos han ganado importancia considerable para la agricultura mundial e industrias asociadas (Velasco y Fernández, 2009). El género *Brassica* es de los que más contribuyen a la agricultura de importancia económica. Dentro del género destaca la canola (*Brassica napus* L.) que contiene de 40-44% de aceite en el grano, siendo su principal uso para el consumo humano, por sus propiedades nutricionales (Aguilar, 2007) y organolépticas. Tiene la combinación ideal del nivel más bajo de ácidos grasos saturados (6%), alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (61%) y de ácidos poliinsaturados (29%), con concentraciones relevantes de ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico (C18:2 n-6) (20%) y α -linolénico (C18:3 n.3) (9%) y la más baja relación n 6 / n 3, 1.91-2.11. Sobre la base de la composición de ácidos grasos, el aceite de canola es reconocido por sus cualidades saludables para el corazón. Presenta compuestos únicos que pueden utilizarse como nutracéuticos con beneficios específicos para la salud (Eskin y McDonald, 1991; Patterson, 2015).

Para que la canola pueda mostrar todas sus capacidades alimenticias y nutracéuticas, es necesario que, desde su cultivo en campo, se le proporcionen los insumos indispensables para lograr la máxima expresión de su potencial. Uno de esos requerimientos es el Nitrógeno (N), que se provee al cultivo a través de la fertilización nitrogenada. Al respecto, diversos autores han señalado que la aplicación de nitrógeno promueve el incremento en la producción de grano (Cárdenas *et al.*, 2004; DANE, 2012; Ferreira y Ernst, 2014).

De acuerdo con Escalante *et al.* (2016), el rendimiento de grano en canola es el resultado de varios factores, entre ellos la fertilización nitrogenada y la densidad de población, los cuales influyen en la formación de órganos de demanda y por consiguiente en el aumento de los componentes del rendimiento que determinan mayor número de granos. El suministro de nitrógeno es importante para mantener una producción sostenible, lo que está relacionado con el momento en que está disponible para el cultivo (Tamagno *et al.*, 1999). La deficiencia de este macronutriente acelera la generación de ácido abscísico, que desempeña un

papel en los procesos de envejecimiento y acorta el periodo de crecimiento y el llenado de asimilados en el grano, la longitud, ancho y área de las láminas foliares disminuyen, los tallos son más delgados, las plantas tienen un crecimiento reducido y hay menor obtención de grano (Orlovius, 2003).

Entre las principales fuentes utilizadas para satisfacer los requerimientos de N en el cultivo de canola se encuentran diversos fertilizantes como urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, amoníaco anhidro (Canola Council, 2017; Hocking y Stapper, 2001; Kaefer *et al.*, 2015).

Kaefer *et al.* (2015) destaca la importancia que tiene la elección de la dosis correcta, la fuente y momento para la aplicación de N, los cuales son factores importantes en la producción del cultivo. Con base en lo anterior, se han hecho diferentes estudios en campo, donde se evalúa el efecto de las diferentes fuentes de N. Öztürk (2010), estudió el efecto de la urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio, con dosis de aplicación ascendentes (0, 50, 100, 150, y 200 kg N ha⁻¹). Los resultados indican que la mejora en la producción y calidad de grano en canola, está determinada por las fuentes de N; dentro de éstas, el sulfato de amonio (SA) es la más apropiada para el logro de una alta producción de grano. Khan (2010), encuentra más crecimiento y producción de grano en canola con la aplicación de SA comparado con una tasa equivalente de N y S como urea y yeso (sulfato de calcio). Otros estudios destacan la necesidad de asegurar el suministro apropiado de N y S, como sulfato de amonio u otro fertilizante de sulfato disponible, ya que la aplicación de azufre elemental se descompone lentamente en sulfato (Canola Council, 2017; Corrales *et al.*, 2014; Franzen, 2013; Melgar y Torres, 2008; Orlovius, 2003). Los requisitos de S y N están estrechamente relacionados porque ambos se utilizan en la síntesis de proteínas y clorofila (Malhi y Karamanos, 2013). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la fuente nitrogenada sobre la biomasa, el rendimiento de canola y sus componentes.

2.4 Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29'N, 98° 53'O, a 2250 msnm), bajo condiciones de régimen de lluvia, con riego complementario. El clima es templado (Cw; García, 2004), con suelo de textura arcillosa, pH 6.5 y 2% de materia orgánica. La siembra del cultivar "Canorte 2010" se hizo de forma manual, el 23 de mayo de 2017 en surcos con distancia entre hilera de 0.80 m y densidad de población de 16 plantas m⁻². La cosecha fue el 01 de noviembre del mismo año. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 100 kg de N ha⁻¹ en forma de urea (U), fosfonitrato (FN) y sulfato de amonio (SA), suministrado en dos etapas (50 kg de N ha⁻¹ en la siembra y 50 kg ha⁻¹ en la primera escarda) y el testigo (sin aplicación de nitrógeno).

Se registraron los días ocurrencia a fases fenológicas del cultivo de acuerdo con el criterio presentado por Carrie (2017): E: emergencia, FH: formación de hojas, CT: crecimiento longitudinal del tallo principal, AOF: aparición del órgano floral, FL: floración (el 50% de las flores en el tallo principal están abiertas), FF: formación del fruto, MF: madurez fisiológica (las vainas cambian de color verde a amarillo pálido). La cosecha se realizó cuando las silicuas presentaron coloración crema pajiza y el grano color café oscuro (Cepeda *et al.*, 2010). Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (AP), diámetro de tallo (DT), longitud de raíz (LR), número de racimos (NR), número de silicuas (NS), número de granos por silicua (NGS), peso seco individual del grano (PSG), rendimiento de grano (RG) y biomasa total (BT). Los datos de temperatura máxima (T máx, °C), temperatura mínima (T mín, °C) y precipitación (pp, mm), durante todo el ciclo del cultivo, se obtuvieron de la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México.

Se calculó el índice de cosecha (IC, %) $IC = RG/BT$ presentado en Escalante *et al.* (2016); las unidades calor (UC, °C día⁻¹) de acuerdo con el método mostrado en Snyder (1985), mediante la siguiente ecuación:

$$GDD = (T \text{ máx} - T \text{ mín} / 2) - THR$$

Dónde: THR = Temperatura del umbral. De acuerdo con Morrison *et al.* (1989), la temperatura de referencia o umbral es en la que cesa el desarrollo fenológico de canola (5 °C). La evapotranspiración del cultivo (ET_c), se calculó con el siguiente planteamiento: ET_c = K_c ET_o, donde: ET_c = Evapotranspiración del cultivo [mm d⁻¹], K_c = Coeficiente del cultivo [adimensional], ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d⁻¹]. El K_c med y K_c fin para canola es 1.15 y 0.35 respectivamente (Allen *et al.*, 2006).

2.4.1 Análisis estadístico

El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. A las variables de estudio se les aplicó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión 9.4 y a las que resultaron significativas, la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson ($\alpha = 0.05, 0.01$ y 0.001) entre las variables de rendimiento y componentes de canola con el software estadístico R 3.4.3

2.5 Resultados y discusión

2.5.1 Fenología y condiciones climáticas

Durante el desarrollo del cultivo la temperatura máxima (T máx) y mínima (T mín) oscilaron entre 21-25 °C y 7-13 °C, respectivamente, con una precipitación de 491mm y una evaporación de 593 mm (Figura 3). Las temperaturas para los estados fenológicos fueron: de la siembra (S) a la emergencia (E) T máx de 27 - 24 °C y T mín de 16 - 12 °C; en la formación de hojas (FH) y crecimiento longitudinal del tallo (CT) las T máx fue de 20 - 22 °C y la T mín de 12 - 14 °C; durante la aparición del órgano floral (AOF) y floración (FL) las T máx oscilaron entre 21 - 24 °C y T mín entre 13 - 14 °C, mientras que en las formación de frutos (FF) las T máx fue de 17 - 20 °C y T mín de 12 - 17 °C; la T máx fue de 19 - 25 °C y T mín de 6 - 7 °C a la madurez fisiológica (MF).

Cabe destacar que la máxima acumulación de precipitación se presentó durante la FH y CT (157 mm), en la AOF y FL fue de 117 mm y en la FF de 102 mm. Los días a ocurrencia a etapas fenológicas fueron similares entre fuentes de de N. Así, la emergencia de la canola fue a los 31 días después de la siembra (dds), mientras que la FH a los 45 dds, CT a los 54 dds, la AOF a los 83 dds FL a los 92 dds, FF a los 113 dds y la madurez fisiológica a los 160 dds (Figura 3).

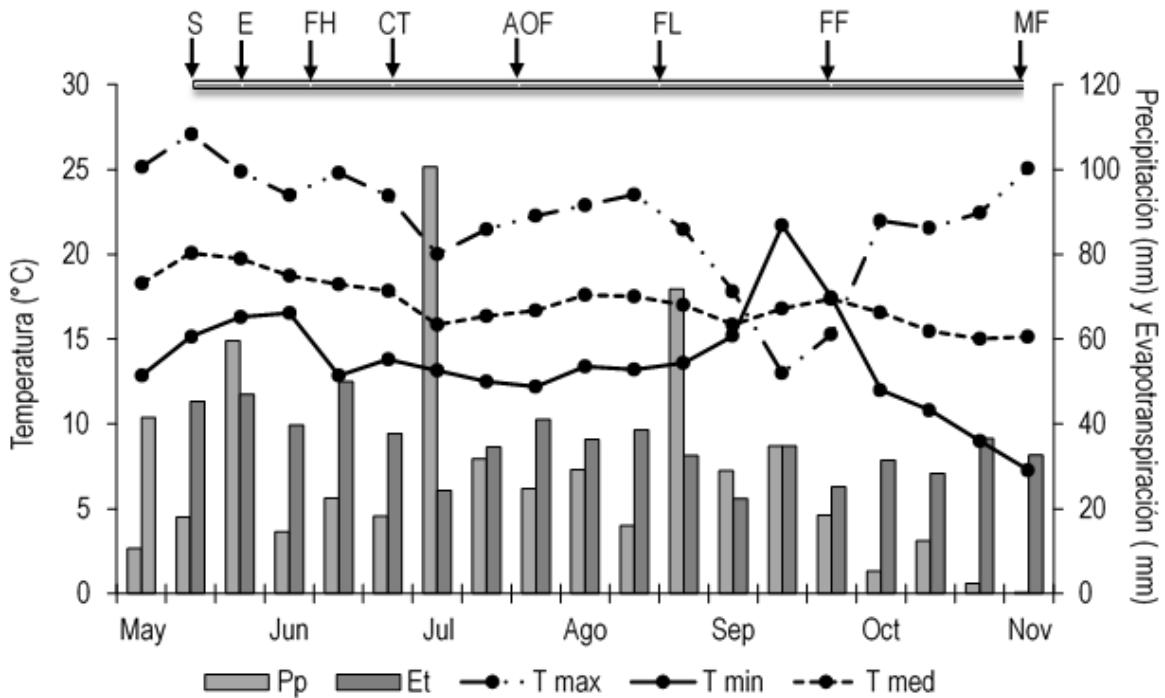


Figura 3. Medias decenales de la temperatura máxima (T max, °C), media (T med, °C) y mínima (T mín, °C) y suma decenal de la precipitación (Pp, mm) y evapotranspiración (Et, mm) durante el ciclo del cultivo de canola. Fenología: S: Siembra; E: Emergencia; FH: Formación de hojas; CT: Crecimiento longitudinal del tallo principal; AOF: Aparición del órgano floral; FL: Floración; FF: Formación del fruto; MF: Madurez fisiológica

Con base en los resultados, se encontró que la duración de los estados fenológicos de canola fue mayor a los reportados por Escalante *et al.* (2016), Camila *et al.* (2014) y Hocking *et al.*, (1997) (Figura 3). De acuerdo con Gusta *et al.* (2004), esto pudo

haber sido causado por el ambiente. En las siembras en primavera, particularmente de cultivos de semillas pequeñas como canola, la emergencia se retrasa y también la emergencia de plántulas, debido a la temperatura y falta de humedad del suelo entre otras causas. Los factores genéticos y deterioro en el almacenamiento de la semilla también pueden retrasar o inhibir la germinación (Kidd, 1914; Roberts, 1972).

Conocer la fenología, así como los diferentes factores abióticos y bióticos que puedan presentarse y alterar el desarrollo del cultivo es de suma importancia para tener buen manejo agronómico; y el logro de mejor cosecha.

2.5.2 Unidades calor y Evapotranspiración

La acumulación de unidades calor durante el ciclo del cultivo fue de 2012 grados día ($^{\circ}\text{C d}^{-1}$). La Figura 4 muestra las unidades calor (UC) acumuladas a las cuales se presentaron los diferentes estados fenológicos del cultivo de canola, desde la emergencia hasta la madurez fisiológica. De siembra a emergencia hubo una acumulación de $438\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, alcanzando una acumulación de $1063\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ en floración y de $2012\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ en la madurez fisiológica.

La tasa de evapotranspiración (ETc) del cultivo es baja durante el periodo de emergencia. Sin embargo, conforme las etapas fenológicas van apareciendo, se observan demandas de ETc más altas por la canola. Del estado de FH a CT se presentaron demandas del cultivo de 13 mm, en AOF a FF 18 mm y de FF a MF 21 mm, lo cual permitió el desarrollo en sus diferentes etapas y llenado de grano.

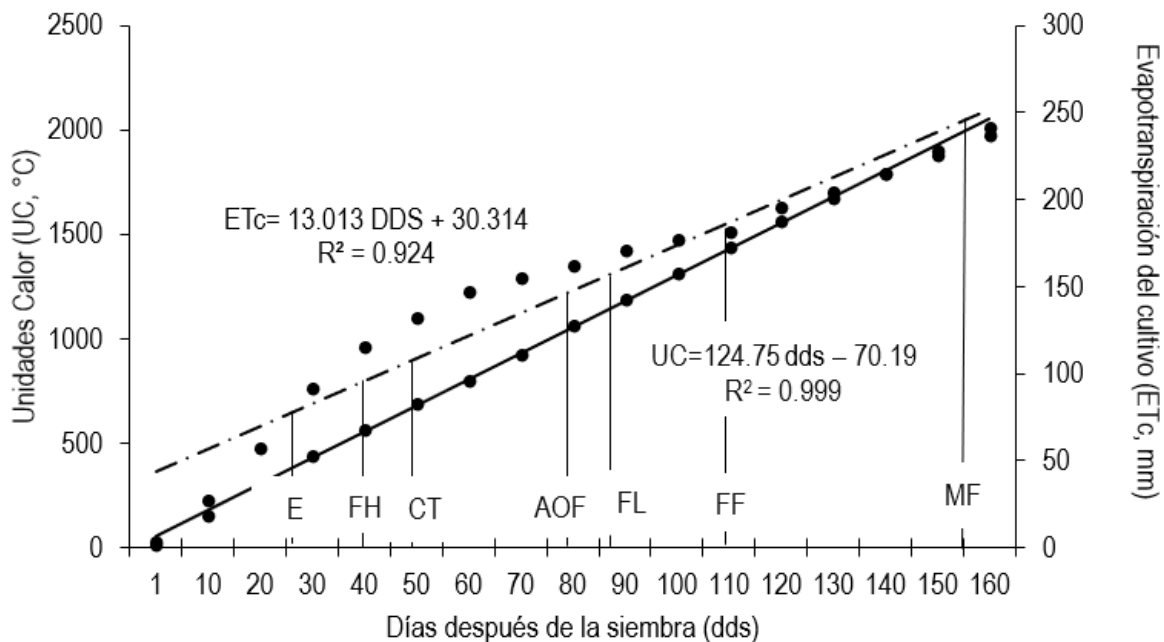


Figura 4. Unidades Calor (UC, °C), evapotranspiración del cultivo (ETc) y fenología durante el ciclo de cultivo de Canola (*Brassica napus* L.). E: Emergencia; FH: Formación de hojas; CT: Crecimiento longitudinal del tallo principal; AOF: Aparición del órgano floral; FL: Floración; FF: Formación del fruto; MF: Madurez fisiológica.

El cultivo presentó una acumulación de unidades calor de $2012\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$, más alta que la presentada por otros autores, la cual está relacionada con la duración de las etapas fenológicas y la producción de grano. Ortegón *et al.* (2006) demostraron el efecto de esta variable al evaluar diferentes fechas de siembra y cultivares, en donde todos presentaron diferencias en calor acumulado y cantidad de grano cosechada debido a la fecha de siembra. Los resultados del presente estudio indicaron que la acumulación de unidades calor durante el ciclo del cultivo fue similar entre tratamientos y no se relacionó con el crecimiento y producción del cultivo, en contraste a lo reportado por Sidlauskas y Bernotas (2003), quienes encontraron que el aumento de las UC tiene un efecto negativo en la cosecha de grano.

2.5.3 Rendimiento y Componentes

El comportamiento de las variables en estudio fue diferente con aplicación de nitrógeno. Las principales diferencias estadísticas con respecto al testigo (sin aplicación de N), se presentaron con el suministro de SA para la biomasa total (BT, 1968 gm⁻²), rendimiento de grano (RG, 410 gm⁻²), número de silicuas (NS, 510 silicuas por planta), peso seco individual del grano (PSG, 1.9 mg) y altura de planta (AP, 122 cm). Dichas variables se incrementaron en 43%, 54%, 20%, 32% y 18%, respectivamente, en comparación con el testigo. Cabe mencionar que la longitud de raíz (LR) fue 13% superior al testigo, con la aplicación de SA. Entre fuentes de nitrógeno la LR con SA fue más alta en 29% y 24%, en relación a la aplicación de U y FN, respectivamente. Las variables que no presentaron diferencias significativas fueron: el diámetro de tallo (DT), número de racimos (NR), número de granos por silicua (NGS) e índice de cosecha (IC). El FN es la otra fuente de nitrógeno que también logró aumentar las variables antes mencionadas, en comparación con la urea y testigo (Cuadro 6).

El análisis de correlación (Cuadro 7), indica que la biomasa total, tiene asociación con las variables, AP ($r = 0.57.$, $\alpha = 0.05$), NR ($r = 0.75.$, $\alpha = 0.01$), NS ($r = 0.75$, $\alpha = 0.01$), NGS ($r = 0.66.$, $\alpha = 0.05$), mientras que el RG está asociado con AP ($r = .59.$, $\alpha = 0.05$), NR ($r = 0.81.$, $\alpha = 0.01$), NS ($r = 0.69.$, $\alpha = 0.01$), NGS ($r = 0.56.$, $\alpha = 0.05$), PSG ($r = 0.67.$, $\alpha = 0.05$) y BT ($r = 0.83.$, $\alpha = 0.001$), el IC relacionado con PSG ($r = 0.79.$, $\alpha = 0.01$).

Cuadro 6. Biomasa, rendimiento y componentes del cultivo de canola (*Brassica napus* L.) en función de la fuente nitrogenada.

Variables	Tratamientos			
	Testigo (T)	Urea (U)	Sulfato de amonio (SA)	Fosfonitrato (FN)
Altura (AP, cm)	100 c	111 b	122 a	115 ab
Diámetro de tallo (DT, mm)	13.2 a	10.4 b	12.9 a	13.4 a
Longitud de raíz (LR, cm)	16.7 ab	13.7 b	19.3 a	14.7 b
Número de racimos (NR)	47 b	40 b	66 a	50 b
Número de silicuas (NS)	410 b	395 b	510 a	535 a
Número de granos por silicua (NGS)	28 a	27 a	31 a	29 a
Peso seco individual del grano (PSG, mg)	1.3 b	1.6 ab	1.9 a	1.6 ab
Rendimiento de grano (RG, g m ⁻²)	189 c	236 c	410 a	319 b
Biomasa total (BT, g m ⁻²)	1126 c	1341 bc	1968 a	1656 ab
Índice de cosecha (%)	17 a	19 a	21 a	19 a

Valores con igual letra en las filas no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Cuadro 7. Análisis de los coeficientes de correlación de Pearson

	AP	LR	DT	NR	NS	NGS	PSG	BT	RG	IC
AP		.036 ^{NS}	0.15 ^{NS}	0.38 ^{NS}	0.43 ^{NS}	0.46 ^{NS}	0.13 ^{NS}	0.57*	0.59*	0.16 ^{NS}
LR			0.24 ^{NS}	0.44 ^{NS}	0.27 ^{NS}	0.35 ^{NS}	-0.23 ^{NS}	0.31 ^{NS}	0.24 ^{NS}	-0.17 ^{NS}
DT				0.007 ^{NS}	0.18 ^{NS}	0.46 ^{NS}	-0.20 ^{NS}	0.09 ^{NS}	0.12 ^{NS}	-0.10 ^{NS}
NR					0.70**	0.53*	0.41 ^{NS}	0.75**	0.81**	0.20 ^{NS}
NS						0.38 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.75**	0.69**	-0.01 ^{NS}
NGS							-0.05 ^{NS}	0.66*	0.56*	-0.07 ^{NS}
PSG								0.28 ^{NS}	0.67*	0.79**
BT									0.83***	-0.08 ^{NS}
RG										0.47 ^{NS}

IC

A: Altura de planta (cm), LR: Longitud de raíz (cm), DT: Diámetro de tallo (mm), NR: Número de racimos, NS: Número de silicuas, NGS: Número de granos por silicua, PSG: Peso seco individual del grano (mg), BT: Biomasa total (g m^{-2}), RG: Rendimiento de grano (g m^{-2}), IC: índice de cosecha (%); *, **, *** diferencias significativas $p > 0.05$, 0.01 y 0.001, NS: Diferencias no significativas ($p > 0.05$).

Las diferentes fuentes de nitrógeno aumentaron de manera significativa la producción de biomasa, grano y sus componentes en comparación con el testigo (Cuadro 6). Cabe destacar que las plantas con N presentaron mayor número de hojas, fueron más vigorosas y con pigmentación verde oscuro.

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de N, generalmente en forma de urea con dosis ascendentes aumenta el número de ramas y silicuas por planta, biomasa, cantidad de grano y contenido de aceite en canola (Escalante *et al.*, 2016; Hocking *et al.*, 1997; Kaefer *et al.*, 2015; Ma y Zheng, 2016). La dotación de N está estrechamente relacionada con el control del crecimiento vegetativo, fomenta el desarrollo de las hojas, también puede ayudar a mantener las hojas con la fotosíntesis activa (Ahmad *et al.*, 2006).

Whittaker *et al.* (1948) resalta la importancia de la eficiencia de diferentes fuentes de nitrógeno, como el nitrato de amonio (NA), sulfato de amonio (SA) y urea (U), en cultivos de maíz, algodón, papa y tabaco, con la aplicación del NA se incrementa la producción en 24% y 72%, en relación con SA y U. Por otra parte los resultados en esta investigación coinciden con lo que mencionan Öztürk (2010) y Ma y Zheng (2016), ya que la aplicación de SA en canola también incrementó algunos componentes morfológicos, lo cual está muy asociado a la acumulación de materia seca y mayor producción de grano (Cuadro 7). Dentro de los resultados los valores de índice de cosecha (IC) más altos se presentaron en los tratamientos con aplicación de SA y FN. De acuerdo con Escalante *et al.* (2016), el N ayuda a una distribución más alta de materia seca hacia el grano. Halley y Deibert (1996) atribuyen que el efecto del SA se debe a la disponibilidad de N, el cual está en forma de amonio, y el azufre en forma de sulfato, que es la forma en que las plantas lo absorben, cubriendo las necesidades nutrimentales en el cultivo de una manera más

rápida. Por otra parte, Chien *et al.* (2001), atribuyen el efecto del SA a su poder acidificante con respecto a otros fertilizantes nitrogenados como el NA y U, lo cual genera una movilización y aumenta la absorción de otros nutrimentos, además es una excelente fuente de fertilización en cultivos que extraen grandes cantidades de azufre (S) del suelo como la canola (Navarro y Navarro, 2014), ya que su aplicación en este cultivo está asociada con el aumento del crecimiento y la producción de grano (Toosi y Mehdi, 2014).

Por otra parte, el efecto de la U en la producción de biomasa y grano, pudo deberse al tiempo de aplicación y al proceso de transformación. Cuando se utiliza este fertilizante como fuente de nitrógeno no obstante que se cubre, ocurre un proceso de volatilización de amoníaco, sobre todo al inicio del periodo vegetativo (Bono *et al.*, 2008; Hocking *et al.*, 1997; Navarro y Navarro, 2014).

El SA y FN son las fuentes que aumentaron la cantidad de grano y otras variables, de acuerdo con Navarro y Navarro (2014), las fuentes de fertilizantes que contienen amonio o nitratos en su composición no generan volatilización. La aplicación de una fuente amoniacal tal como el SA en la siembra es ideal para evitar pérdidas por volatilización y lixiviación y promover el crecimiento de plántulas (Castellanos *et al.*, 1999; Mariscal *et al.*, 2013).

2.6 Conclusiones

La canola presentó mayor producción de grano con la aplicación de nitrógeno mostrándose diferencias entre las fuentes de nitrógeno. El incremento en el rendimiento fue más alto con el sulfato de amonio y más bajo con la aplicación de urea. Dichos cambios se relacionan con la biomasa, el número de racimos, número de silicuas y el índice de cosecha. El número de granos por silicua no contribuyó significativamente en los cambios en el rendimiento de grano del cultivo. La mejor fuente de fertilizante nitrogenado fue el sulfato de amonio, ya que, con su contribución al desarrollo de los componentes morfológicos y fisiológicos, se logró un rendimiento de grano más alto.

2.7 Literatura citada

- Aguilar F.P. 2007. Canola: Una excelente alternativa para la conversion productiva en valles altos de México. Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas (boletín), 1–8.
- Ahmad G., Jan A., Inamullah y Arif M. 2006. Phenology and Physiology of Canola as Affected by Nitrogen and Sulfur Fertilization. *Journal of Agronomy*, 5(4), 555–562.
- Allen R., Pereira L., Raes D., y Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de agua de los cultivos. FAO, pp 297.
- Bono M. J. A., D’Agostini C.R.A.P., Mauad M., De Albuquerque J.C., Rumiko Y.C., Da Silva C.K., y De Freitas M.E. 2008. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Agrarian*. 1(2), 91–102.
- Camila G., Conde M.B., Martignone R. y Enrico J.M.E. 2014 Variabilidad en la sensibilidad termo-fotoperiódica de cultivares de diferente grupo de madurez y su relación con el rendimiento. para mejorar la produccion 52- INTA EEA oliveros, 113–120.
- Canola Council of Canada. 2017. Nitrogen Fertilizer Management. Recuperado de Canola Encyclopedia. [En línea] Disponible en: cutt.ly/CuxNNS . Fecha de consulta: 9 abril 2019.
- Cárdenas N.R., Sánchez Y.J.M., Farías R.R. y Peña C.J.J. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173–178.
- Carrie, K. A. 2017. Identifying Canola Growth Stages. [En línea] Disponible en: cutt.ly/0ux1nn . Fecha de consulta: 15 abril 2019

- Castellanos J.Z., Uvalle-Bueno J.X., y Aguilar-Santelises A. 1999. Memoria del Curso sobre Interpretación de Análisis de Suelos , Aguas Agrícolas , Plantas y ECP. México.
- Cepeda V. M. A., Gómez L. B. L., Venegas G. E. 2010. Guía para el cultivar canola bajo riego en Michoacán. Guía Técnica Núm. 1 SAGARPA, INIFAP, CIRPAC, Campo experimental Uruapan, Michoacán, México. 33p
- Chien S.H., Gearhart M.M., Collamer D.J. y I.F.D.C. 2001. Los Fertilizantes Nitrogenados y la Acidificación del Suelo. Recuperado de Reporte Internacional Fertilizer Development Center (IFDC) website: <https://cutt.ly/llylhSQ>. Fecha de consulta: 9 abril 2019
- Corrales M.C.G., Vargas A.I., Vallejo C.S. y Martínez T.M.A. 2014. Deficiencia de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, XVI, 38–44.
- DANE, (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2012. Importancia de los fertilizantes nitrogenados (S. de I. de P. y A. del S. Agropecuario & M. de A. y D. Rural, Eds.). Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria, pp 1-76.
- Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez-González M.T. y Escalante-Estrada Y.I. 2016. Rendimiento, eficiencia en uso del agua en canola en función del nitrógeno y distancia entre hileras. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(6), 1249-1259.
- Eskin N.A.M. y McDonald B.E. 1991. Canola Oil. BNF Nutrition Bulletin, 63, 138–146.
- Ferreira G, y Ernst O. 2014. Diagnóstico del estado nutricional del cultivo de colza (*Brassica napus* L.) en base a curvas de dilución de nitrógeno y azufre. Agrociencia Uruguay, 18(1), 75–85.
- Franzen J. 2013. Fertilizing Canola and Mustard. En NDSU. Fargo, North Dakota, USA.

- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Quinta edi; N. 6 Serie libros, Ed.). Instituto de Geografía UNAM.
- Gusta L.V., Johnson E.N., Nesbitt N.T. y Kirkland K.J. 2004. Effect of seeding date on canola seed quality and seed vigour. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(2), 463–471.
- Halley S. y Deibert E.J. 1996. Canola response to sulfur fertilizer applications under different tillage and landscape position. Annual Rep. to USDA-CSREES Special Programs, Northern Region Canola and North Dakota Oilseed Council. North Dakota State Univ., Fargo
- Hocking P.J., Randall P.J. y DeMarco D. 1997 The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: Partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects on yield components. *Field Crops Research*, 54(2–3), 201–220.
- Hocking P.J. y Stapper M. 2001. Effects of sowing time and nitrogen fertiliser on canola and wheat, and nitrogen fertiliser on Indian mustard. I. Dry matter production, grain yield, and yield components. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 623–634.
- Kaefer J.E., Richart A., Nozaki M.D.H., Daga J., Campagnolo R. y Follmann P.E. 2015. Canola response to nitrogen sources and split application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(11), 1042–1048.
- Khan T. 2010. Ammonium Sulfate as a specialty fertilizer for canola. Recuperado de International plant nutrition institute (IPNI) website: <https://cutt.ly/8unU16> . Fecha de consulta 16 abril 2019
- Kidd F. 1914. The Controlling Influence of Carbon Dioxide in the Maturation, Dormancy, and Germination of Seeds.--Part I. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 87, 408–421.
- Ma B.L. y Zheng Z.M. 2016. Relationship between plant nitrogen and phosphorus accumulations in a canola crop as affected by nitrogen management under

- ample phosphorus supply conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(5), 853–866.
- Malhi S.S. y Karamanos R. 2013. Maximizing Yield and Quality of Canola Seed with Optimum Sulphur Fertilizer Management Practices in the Parkland Region of Western Canada. *Soils and Crops Worksj*, ppMe 1–13.
- Mariscal G.K.P., González A.A. y Castillo T.N. 2013. Tecnología para producir canola de temporal en las sierras de Tapalpa y el Tigre en Jalisco (Primera Ed; P. in México, Ed.). Recuperado de www.INIFAP.GOB.MX . Fecha de consulta 19 abril de 2019
- Melgar R. y Torres M. 2008. Manejo de la Fertilización en Maíz. Proyecto Fertilizar EEA INTA Pergamino. 114–121.
- Morrison M.J., McVetty P.B.E. y Shaykewich C.F. 1989. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of westar summer rape. *Canadian Journal Plant Science*, 69(2), 455–464.
- Navarro G.G. y Navarro G.S. 2014. Fertilizantes: Química y acción (Ediciones; Mundi-Prensa, Ed.). [En línea] Disponible en: cutt.ly/VylxNf . Fecha de consulta: 19 abril 2019
- Orlovius K. 2003. Fertilizing for High Yield and Quality Oilseed Rape. *IPI Bulletin*, Basel, (16), 1–125. Recuperado de <https://cutt.ly/bunTfs> . Fecha de consulta: 12 abril 2019
- Ortegón M.S.A., Díaz Q.F., González C.F. y Garza I. 2006. La temperatura en la etapa reproductiva del cultivo de canola (*Brassica napus* L.). *Agricultura Técnica en México*, 32, 259–265.
- Öztürk Ö. 2010. Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 132–141.
- Patterson T. G. 2015. Canola Oil : New Versions. En J. Wiley, S. Ltd, & I. of T. Food (Eds.), *Trint-Modified Oils in Foods* (First Edit, pp. 93–112). Chicago.

- Roberts E.H. 1972. Viability of seeds. En Chapman and Hall Ltd (primera ed). London EC. Springer Y Business Media.
- Sidlauskas G. y Bernotas S. 2003. Some factors affecting seed yield of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy Research*, 1(2), 229–243.
- Snyder R.L. 1985. Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meterology*, 35, 353–358.
- Tamagno L.N., Chamorro A.M. y Sarandón 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. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 104(1), 25–34.
- Toosi A.F. y Mehdi A. 2014. Effect of different sources of nitrogen fertilizer on yield & yield components of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Scientific Papers Series: A. Agronomy*, LVII, 364–366.
- Velasco L. y Fernandez M.J.M. 2009. Other Brassicas. En J. Vollman & I. Rajcan (Eds.), *Oil crops* (pp. 127–153).
- Whittaker C.W., Brown B.E. y Richard A.J. 1948. *Ammonium Nitrate for Crop Production*. Washington, D. C.: United States Departament of Agriculture.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CANOLA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE NITROGENADA

GROWTH ANALYSIS OF CANOLA BASED ON NITROGEN SOURCE

3.1 Resumen

La canola es uno de los cultivos oleaginosos con importancia mundial, debido a la producción de aceite de calidad para consumo humano. El presente estudio se realizó en Montecillo, Texcoco, Estado de México, México (19° 29'N, 98° 53'O, a 2250 msnm, de clima templado, bajo condiciones de régimen de lluvia y riego complementario. Se trabajó con canola "Canorte 2010" y el objetivo fue evaluar el efecto de la fuente de fertilizante nitrogenado (FFN) sobre el crecimiento y rendimiento, bajo un diseño experimental, en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, a las variables evaluadas, se les aplicó el análisis de varianza y las que resultaron con diferencias, la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los resultados indican diferencias en el índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo, biomasa y rendimiento de grano, con la aplicación de las diferentes FFN como sulfato de amonio, fosfonitrato, urea y testigo (sin fertilización con nitrógeno). Con sulfato de amonio se logró el más alto índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo, biomasa y rendimiento en grano, seguido del fosfonitrato y urea. El testigo presentó los valores más bajos.

Palabras clave: *Brassica napus* L., índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo, biomasa, materia seca en grano

3.2 Abstract

Canola is one of the oil crops achieving global importance, due to the production and quality oil produced for human consumption. The present study was carried out in Montecillo, Texcoco, State of Mexico, México (19° 29'N, 98° 53'W, at 2250 m a. s. l.). Crop evaluation occurred under temperate climate, rainy-fed conditions, complementary irrigation, and using canola "cv. Canorte 2010 ". The objective was

to evaluate the effect of the source of nitrogen fertilizer (NFS) on growth and yield. Under an experimental design, randomized complete blocks with four repetitions, the evaluated variables, the analysis of variance and the result of the differences, the comparison test of Tukey means ($\alpha = 0.05$). The results indicate differences in leaf area index, growth rate of the crop, biomass and grain yield, with the different NFS such as ammonium sulphate, phosphonitrate, urea and control (without nitrogen fertilization). With ammonium sulfate, the highest leaf area index, growth rate of the crop, biomass and grain yield was achieved, followed by phosphonitrate and urea. The control presented the lowest values.

Key words: *Brassica napus* L., leaf area index, crop growth rate, biomass, grain dry matter

3.3 Introducción

La canola (*Brassica napus* L.) es un cultivo oleaginoso de importancia industrial, el principal producto es el aceite de su semilla, que se encuentra en una proporción de entre 40 y 44%, el cual es uno de los mejores aceites vegetales en términos de calidad para la nutrición y la salud humana (Aguilar, 2007). Es una de las fuentes de proteínas (36 y 39%) más utilizadas para la alimentación animal, tiene un excelente perfil de aminoácidos y bajos niveles de glucosinolatos (Mulrooney *et al.*, 2009). La producción mundial de este cultivo se centra en: Canadá, China, India, y Francia, en 2016 concentraron cerca del 54 % del total mundial, otros países, entre los primeros diez son Alemania, Australia, Polonia, Reino Unido, Estados Unidos y la Republica Checa (FAOSTAT, 2016). En México la producción de esta oleaginosa solo se cubre del 5 al 10% de la demanda nacional (INIFAP, 2008), los principales estados productores son: México, Tlaxcala, Tamaulipas, Jalisco y Coahuila, siendo los primeros dos estados los que tienen mayor rendimiento, 10.7 y 10.9 Ton ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2017). Es un cultivo de reciente introducción en México en algunas áreas del norte y centro del país. Debido a la demanda de aceite por la industria alimenticia y a la agricultura por contrato que ésta promueve, tiene buenas expectativas para su explotación comercial (Ortegón *et al.*, 2006) , por lo que el

aumento del rendimiento es uno de los principales objetivos agronómicos, lo cual es posible con el manejo equilibrado y efectivo de los fertilizantes, es fundamental para optimizar los rendimientos de los cultivos y la rentabilidad para asegurar la calidad de los cultivos y para mantener la productividad del suelo (Grant and Bailey, 1993).

Su cultivo intensivo requiere cantidades importantes de fertilizantes de nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P) y potasio (K) (Abdallh *et al.*, 2010). Entre estos el N juega un papel muy importante, ya que es el componente principal de la enzima Rubisco, el cual es responsable del proceso fotosintético, es central en los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo (Salvagotti, 2013). Esta oleaginosa que tiene una demanda relativamente alta de nitrógeno, por lo que el contenido de este nutriente en semillas y tejidos de plantas es mayor que la mayoría de los cultivos de granos (Svečnjak y Zdenko, 2006). La calidad y rendimiento de grano se puede aumentar a través de la fertilización mineral, ya que se pueden modificar algunas propiedades fisiológicas y morfológicas de la planta. El rendimiento está relacionado con ciertos caracteres de la planta, como los componentes del rendimiento y los parámetros de crecimiento (Yasari y Patwardhan, 2006). El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la fuente de fertilizante nitrogenado sobre el área foliar, duración del área foliar, la tasa de crecimiento del cultivo, la biomasa y el rendimiento de grano en canola.

3.4 Materiales y Métodos

El estudio se estableció en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México, México (19° 29'N, 98° 53'O, a 2250 msnm) de clima templado (Cw, García, 2004), bajo régimen de lluvia, con dos riegos complementarios. La siembra del cultivar de canola "Canorte 2010" se realizó el 23 de mayo de 2017, a distancia entre surcos de 80 cm y densidad de población de 16 plantas m⁻², en suelo arcilloso, con pH 6.5, 2% de materia orgánica. La cosecha fue el 01 noviembre de 2017. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de Nitrógeno en dos etapas (50 kg ha⁻¹ de N en la siembra y 50 kg ha⁻¹ en la primera escarda), en forma de urea (U), fosfonitrato (FN) y sulfato de amonio (SA)

y testigo (sin aplicación de nitrógeno). El diseño experimental fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La información de los elementos del clima, temperatura máxima y mínima ($T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$, °C) y precipitación (pp, mm) durante el ciclo del cultivo, se obtuvo de la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. Se registraron los días a ocurrencia de las fases fenológicas del cultivo (Carrie, 2017).

Para evaluar el crecimiento del cultivo se realizaron muestreos destructivos de tres plantas por unidad experimental a 73, 109 y 160 días después de la siembra (dds). Las variables registradas fueron: área foliar (AF), medida con integrador de área (LI-COR 3100); biomasa total con base en materia seca (MS); para esto, las muestras se dejaron secar en estufa (Scorpions Scientific) a 80°C hasta que se registró peso constante; también se determinó el rendimiento de grano (RG) a madurez fisiológica.

Con los valores del AF se calcularon los correspondientes índices de crecimiento, mediante las siguientes formulas: Índice de Área Foliar (IAF, adimensional): $IAF = AF/A$, donde: AF = área foliar por m^{-2} y A = m^{-2} de superficie muestreada ; la duración del área foliar (DAF, m^2 día): $DAF = (IAF_2 + IAF_1) \cdot (T_2 - T_1) / 2$, donde: $IAF_2 + IAF_1$ = índice de área foliar al inicio y al final del intervalo; área foliar específica (AFE, $cm^2 g^{-1}$): $AFE = AF / PSH$, donde: AF = Área foliar y PSH = Materia seca foliar.

El cálculo de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y tasa de asimilación neta (TAN) se realizó con base a la acumulación de MS, mediante la fórmula: $TCC = (MS_2 - MS_1) / A (T_2 - T_1)$, donde MS_1 y MS_2 = es el peso seco del cultivo al comienzo y al final del intervalo; T_1 y T_2 = los días correspondientes y A = área del suelo, la tasa de asimilación neta (TAN,): $(MS_2 - MS_1) (\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1) (T_2 - T_1)$

3.4.1. Análisis estadístico

A las variables de estudio se les aplicó el análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013) y a las que resultaron con diferencias significativas, la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

3.5 Resultados

3.5.1 Elementos del clima y fenología

La temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) promedio durante el ciclo del cultivo, fue de 25 °C y 12 °C, respectivamente. En la etapa vegetativa la T_{máx} osciló entre 25 - 20 °C y T_{mín} 17 – 12 °C, mientras que en la etapa reproductiva la T_{máx} y T_{mín} osciló entre 25 - 18 °C y 17 - 7 °C, respectivamente. Los días a ocurrencia de las fases fenológicas no fueron afectados por la aplicación de las diferentes fuentes de fertilizante nitrogenado (FFN), la duración de las etapas de desarrollo fue mayor al reportado por otros autores (Escalante *et al.*, 2016, Camila *et al.*, 2014) (Cuadro 8), esto pudo deberse a la temperatura presente durante el ciclo del cultivo, que es uno de los principales factores ambientales, pudo alterar el desarrollo de la planta (Tasseva *et al.*, 2004). El retraso de la emergencia (30 dds) pudo haber sido causa del efecto térmico, puesto que la T_{máx} y T_{mín} promedio durante esta etapa fue de 24.4 °C y 15 °C, respectivamente, y la temperatura óptima para esta etapa es de 22°C, y cualquier temperatura por encima o debajo del nivel óptimo puede afectar la germinación (Nykiforuk y Johnson-Flanagan, 1999). Sin embargo, las plantas pueden responder a este tipo de estrés expresando una serie de cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares (Wang *et al.*, 2001). Durante la floración y formación del fruto se presentaron T_{máx} y T_{mín} de 23°C – 18°C y 12°C y 16°C, respectivamente, factor que influyó en la duración de la etapa reproductiva, la cual fue de 92 días y en el rendimiento, puesto que, temperatura superior a 27°C pueden reducir la fertilidad del polen y la fertilidad femenina (Morrison, 1993). La precipitación pluvial (PP) durante el ciclo del cultivo fue de 491 mm, de los cuales 272 mm se presentaron en la etapa vegetativa, y 219 en la reproductiva. La PP más baja en esta etapa, pudo ocasionar un estrés hídrico más severo y en consecuencia limitar una mayor expresión del rendimiento. Los días a ocurrencia de las etapas fenológicas fueron de la siguiente manera: la emergencia (E) a los 31 días después de la siembra (dds), la formación de hojas (FH) a los 45 dds, crecimiento longitudinal del tallo principal (CT) a los 54 dds, la aparición del órgano floral (AOF) a los 83 dds, floración (FL) a los 92 dds, formación del fruto (FF) a los 113 dds y la madurez fisiológica (MF) a los 160 dds (Cuadro 8).

Cuadro 8. Suma decenal de la precipitación (PP, mm) y medias decenales de la temperatura máxima (Tmax, °C) y mínima (Tmin, °C) durante el ciclo del cultivo de canola. Montecillo Municipio de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017

Mes	Decena	Precipitación (PP, mm)	Temperatura máxima (Tmax, °C)	Temperatura mínima (Tmin, °C)	Fase Fenológica
May	3	59.6	24.8	16.2	S
	1	14.5	23.4	16.5	
Jun	2	22.5	24.8	12.8	E
	3	18.1	23.4	13.8	
jul	1	100.6	20.0	13.1	FH-CT
	2	31.8	21.4	12.4	
	3	24.7	22.2	12.1	
Ago	1	29.1	22.8	13.3	AOF-FL
	2	15.9	23.5	13.2	
	3	71.7	21.4	13.5	
Sep	1	28.8	17.8	15.2	FF
	2	34.7	13.0	21.6	
	3	18.4	15.2	17.4	
Oct	1	5.2	21.9	11.9	
	2	12.4	21.5	10.9	
	3	2.2	22.4	8.9	
Nov	1	0.2	25.0	7.2	MF

S: Siembra; E: Emergencia; FH: Formación de hojas; CT: Crecimiento longitudinal del tallo principal; AOF: Aparición del órgano floral (50% de la población tiene botones florales); FL: Floración (50% de la población tiene las flores abiertas); FF: Formación del fruto; MF: Madurez fisiológica.

3.5.2 Índice de área foliar (IAF)

Los diferentes fertilizantes nitrogenados influyeron significativamente en el IAF (Figura 5). Cualquier FFN ocasionó aumentos en el IAF, el cual se incrementó gradualmente con la edad del cultivo, alcanzando su máximo a los 109 dds, que corresponde a la etapa de aparición del órgano floral; con la aplicación de SA y FN se presentaron los IAF más altos, con 6.7 y 5.1, respectivamente, en comparación con U y T los cuales fueron inferiores, 3.5 y 2.5, respectivamente. Posteriormente el IAF disminuyó hasta el final del ciclo, debido a la senescencia de las hojas.

De acuerdo con Allen y Morgan (1972) un IAF de 4 a 5 es óptimo para la tasa máxima de producción de MS. Los valores de IAF de este estudio son similares a los reportados por Tamagno *et al.* (1999), donde evaluó el comportamiento de la canola mediante la aplicación de N en dos cultivares: Iciola 41 y Global, los IAF en los diferentes estados de desarrollo fueron 0.66 al inicio del crecimiento, 7.9 para roseta y 4.9 durante la formación del fruto.

Cabe mencionar que la aplicación de SA y FN aumentaron el número y tamaño de hojas a diferencia de la U y T, el crecimiento, desarrollo e incremento del AF permite que haya mayor translocación de fotosintatos a los órganos de cosecha (Ahmad *et al.*, 2016), por ello el mantenimiento de un AF grande y fotosintéticamente eficiente es necesaria para obtener altos rendimientos en este cultivo (Allen y Morgan, 1972). El SA fue el que presentó mayor IAF, la asociación de N-S pudo aumentar el contenido de rubisco, clorofila y proteínas en las hojas, lo que implica mejor actividad fotosintética en comparación a los demás tratamientos (Abdalla *et al.*, 2010).

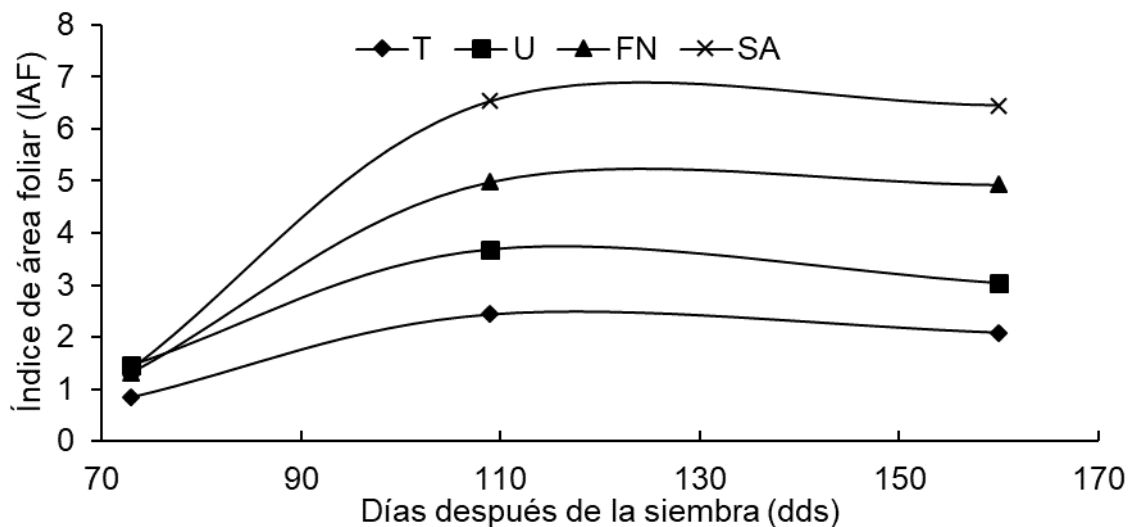


Figura 5. Índice de área foliar (IAF), en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).

3.5.3 Duración del área foliar (DAF)

La DAF de la canola fue más alta con aplicación de N en sus diferentes fuentes, el SA superó en 66% al testigo, 51% U y 24% a FN. Este comportamiento fue similar en las diferentes etapas de muestreo. Esta respuesta garantiza mayor producción de fotosintatos lo que se traduciría en mayor número de silicuas y semillas por silicua (Cuadro 9). Sin embargo, las respuestas de la fertilización podrían ser dependiente del genotipo y de las condiciones ambientales (Tamangno *et al.*, 1999).

Cuadro 9. Duración del área foliar (DAF, m² día), en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo Municipio de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017.

Período (días)	Duración del área foliar en m ² día			
	Testigo (T)	Urea (U)	Fosfonitrato (FN)	Sulfato de Amonio (SA)
0-73	30	54	48	50
73-109	59	93	113	142
109-160	115	172	253	331

3.5.4 Área foliar específica (AFE)

Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja. Se define como la relación entre el área total de la hoja y el peso seco del área foliar de la planta (Flórez *et al.*, 2006). El área foliar específica (AFE) al inicio del ciclo fue mayor, debido al desarrollo del número de hojas, con forme el tiempo pasa los valores van decreciendo por la senescencia y edad de las hojas, para el caso de las plantas con aplicación de sulfato de amonio (SA) su AFE fue más constante durante todo el ciclo, además es el que tuvo el valor más alto al final del ciclo, en comparación con los demás tratamientos. En cuanto al tratamiento con urea (U) al inicio tuvo los valores más altos, sin embargo, a los 160 dds dentro de las fuentes de N fue el que decreció más, lo cual implica que no hubo mucha retención de hojas. Esta tendencia es similar a lo ocurrido con el Testigo (T) y fosfonitrato (FN) (Figura 6).

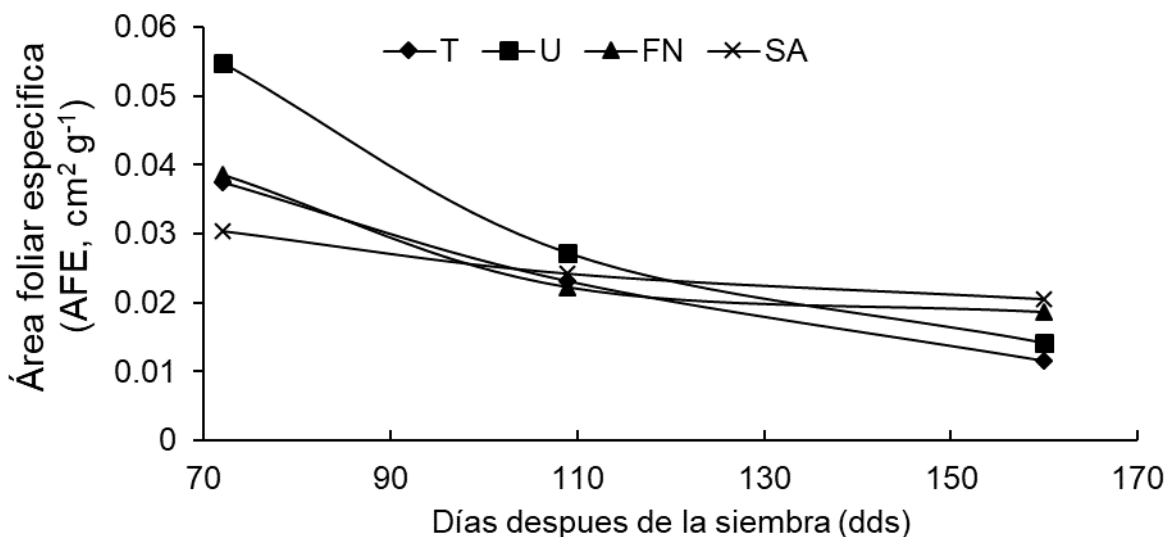


Figura 6. Área foliar específica (AFE), en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).

3.5.5 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La TCC del cultivo con aplicación de N fue más alta que en el testigo. La TCC más alta se observó a los a los 109 dds. Con el SA y FN fue de 39 y 33 g m⁻² día⁻¹, respectivamente y superó en 51% y 64% a la TCC del cultivo con U y el T, respectivamente, la cobertura reducida del dosel vegetal tuvo impacto en las TCC, el N estimuló la formación de hojas, los cuales cubren una fusión importante en la intercepción de luz, tienen una influencia directa en la acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo. Al alcanzar la madurez fisiológica la TCC disminuyó (Figura 7). Es posible que el ascenso en la TCC se deba a un IAF más alto y también al aumento en el número de silicuas generado por el cultivo con N, particularmente con SA y FN.

Allen y Morgan (1972) atribuyen el aumento en crecimiento a la presencia de tejidos con fotosíntesis activa, es decir, las silicuas, ya que las tasas de fotosíntesis de las hojas y tallos van disminuyendo debido a madurez del cultivo.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Yasari y Patwardhan (2006) quienes obtuvieron TCC elevados al aplicar N. La reducción de la TCC hacia la MF puede deberse a la senescencia foliar con la consecuente reducción del IAF que es la principal maquinaria fotosintética. Mientras que Tripathi *et al.* (2011) informó que el suministro adecuado de N y otros nutrientes esenciales fácilmente disponibles en la mostaza india, incrementó la disponibilidad, adquisición, movilización y afluencia en los tejidos de la planta aumentaron, por lo tanto, aumentaron los atributos de crecimiento y los componentes de rendimiento y finalmente el rendimiento

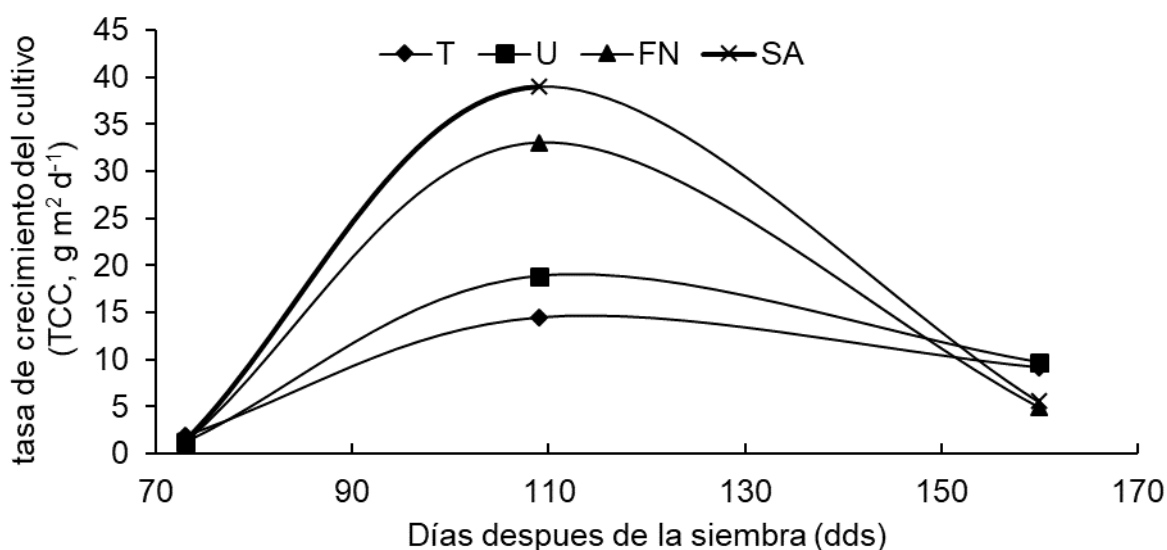


Figura 7. Dinámica de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.). Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).

3.5.6 Tasa de asimilación neta (TAN)

Dado que las superficies de las hojas interceptan la luz solar y absorben el CO₂ en la fotosíntesis, en algunos casos es conveniente expresar el crecimiento en base al área de la hoja (Brown, 1984), la tasa de acumulación de materia seca por unidad de área foliar (TAN) es una medida de la eficacia del follaje, el cual constituye la principal fuente de fotoasimilados en la producción de materia seca e indica también

la velocidad de fotosíntesis neta en un lapso relativamente largo, entre dos muestreos (Escalante and Kohashi, 1993).

La dinámica de crecimiento de la TAN es pequeña al principio, los diferentes tratamientos siguieron el mismo comportamiento en este periodo, a medida en que se desarrolla el cultivo la TAN también lo hace, debido al desarrollo vegetal, al principio los valores son altos, a los 109 dds el cultivo expresa su máximo potencial. Después la TAN empieza a decrecer, esto por el estado fenológico en que se encuentra el cultivo y el estado de las hojas, al detenerse el desarrollo de hojas y la presencia de hojas viejas se disminuye la eficiencia fotosintética. Los tratamientos que presentaron los valores más altos de TAN fueron FN y SA con 1.98 y 1.94 g m⁻² día⁻¹, lo cual no son muy diferentes entre sí. La TAN aumentó con la edad de la hoja y luego disminuyó a medida que las hojas envejecieron.

El comportamiento de la TAN fue diferente a otras investigaciones realizadas con canola y fertilización nitrogenada. Allen y Morgan (1972) encontraron que la TAN presentó valores altos en los tratamientos a los que no se le aplicó N, mientras las parcelas que recibieron N se mantuvieron más o menos igual, se esperaría que el aumento de la radiación solar aumentara la TAN, pero esto solo ocurrió en las parcelas a las que no se aplicó N. es evidente que en las parcelas que recibieron N, otros factores operaban para contrarrestar los efectos positivos del aumento de la radiación en la TAN.

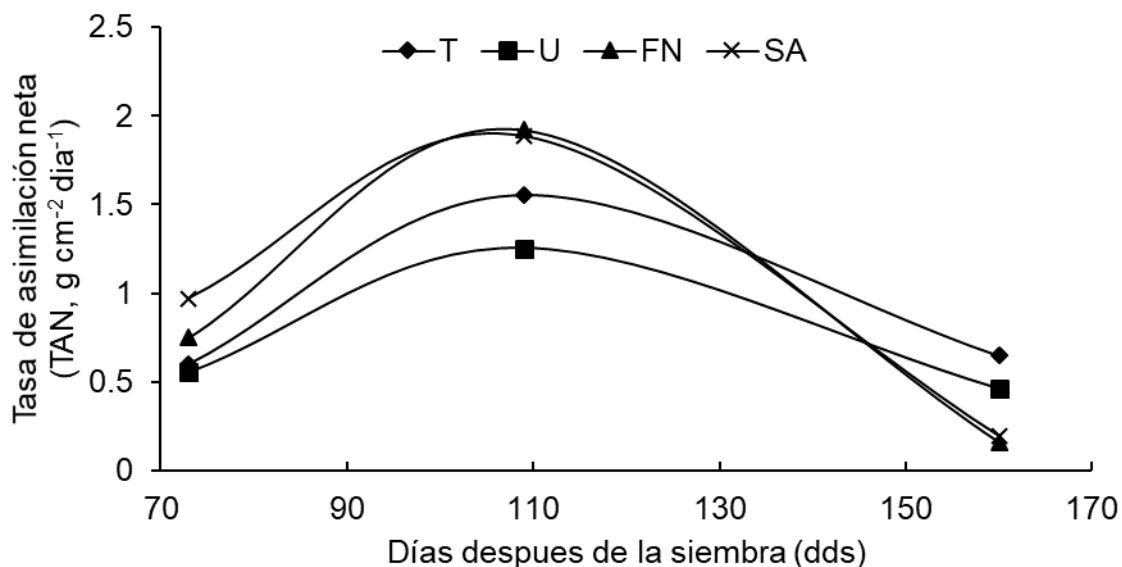


Figura 8. Tasa de asimilación neta (TAN), en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.). Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).

3.5.7 Biomasa total y rendimiento de grano

La biomasa se incrementó significativamente con las diferentes FFN en relación con el testigo (sin fertilizante N) (Figura 9). Con el SA se logró la mayor acumulación de biomasa al final del ciclo, con 1,968 g m⁻², superando en 16% al tratamiento con FN, en 32% al tratamiento con U y 43 % al T. Las diferentes FFN incrementaron el IAF y la TCC, lo que contribuyó a una mayor biomasa y a la obtención de mayor rendimiento de grano por m⁻² (RG), donde con SA se logró el RG más alto con 410 g m⁻², seguido por FN con 318 g m⁻², U con 236 g m⁻² y el T con 189 g m⁻² (Figura 10).

Los resultados coinciden con lo mencionado por diversos autores, lo cuales destacan la importancia del N en la planta, para poder lograr una producción sostenible, ya que la aplicación de N produce mayor área foliar, TCC, acumulación de biomasa y rendimiento (Escalante *et al.*, 2016; Svečnjak y Zdenko 2006; Tamagno *et al.*, 1999). Quintana *et al.* (2013) señalan que el rendimiento de grano

está estrechamente relacionado con la producción de biomasa. La producción de biomasa depende de la cantidad de radiación solar disponible, la tasa de fotosíntesis, área foliar y esto a su vez de la radiación interceptada y disponibilidad de nutrientes (Cambareri *et al.*,2011; Shabani *et al.*, 2013). Tendencias semejantes han sido reportadas por Yasari y Patwardhan (2006) y Tripathi *et al.* (2011).

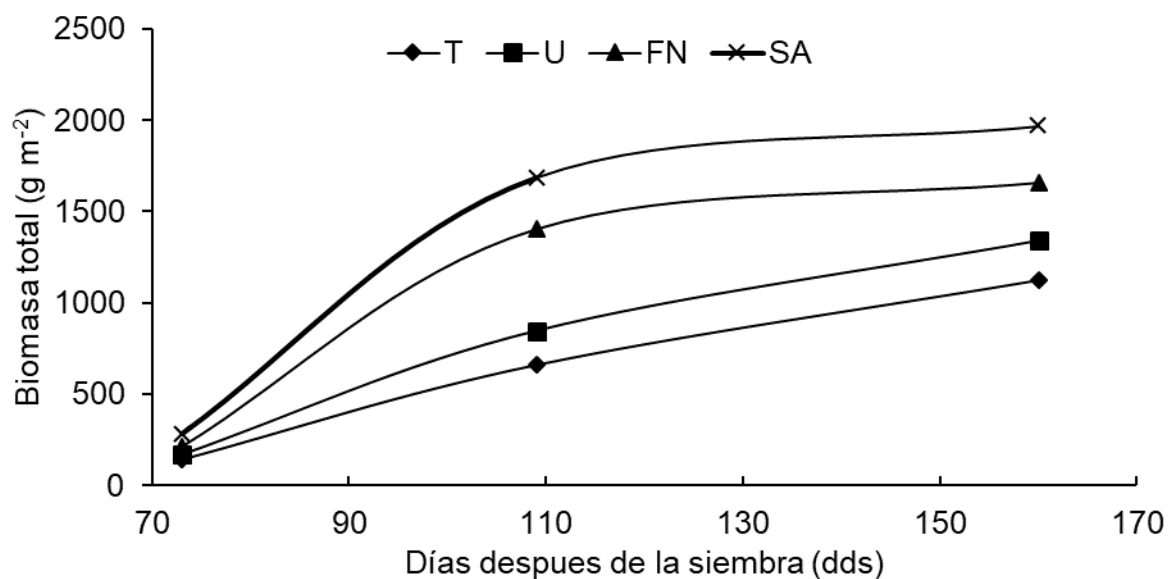


Figura 9. Biomasa total en función de la fuente nitrogenada, en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada).

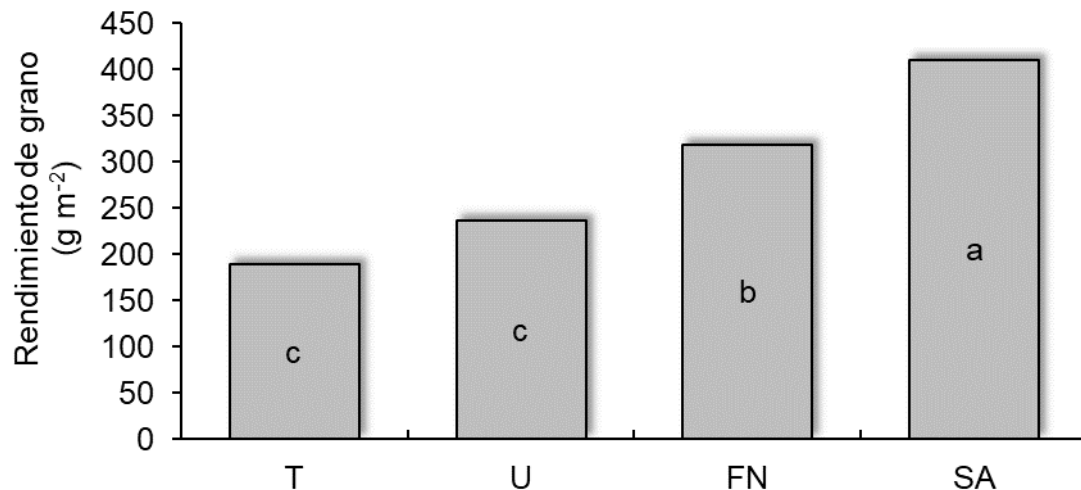


Figura 10. Rendimiento de grano en función de la fuente nitrogenada en canola (*Brassica napus* L.), Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Verano 2017. SA = Sulfato de amonio; FN = Fosfonitrato; U = Urea; T = Testigo (sin fertilización nitrogenada). Barras con letra similar indican que los valores son estadísticamente iguales. Agronómico

3.6 conclusiones

Las diferentes fuentes de nitrógeno incrementaron el índice de área foliar, la tasa de crecimiento del cultivo, producción de biomasa y el rendimiento en grano. Los incrementos fueron más altos con el sulfato de amonio, seguido del fosfonitrato y la urea.

3.7 Literatura citada

- Abdallh, M., Dubousset L., Meuriot F., Etienne P, Avice J. C. y Outty A. 2010. 'Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L.', Journal of Experimental Botany, 61(10), pp. 2635–2646. doi 10.1093/jxb/erq096.
- Aguilar, F. P. 2007. Canola. Una excelente alternativa para la conversión productiva en Valles Altos de México. [En línea] Disponible en: goo.gl/1NzEvt
- Ahmad. A., Nassim W., Ahman S., Nadeem M., Masood N. Shahid M. y Fahad S. 2016. 'Response of sunflower hybrids to nitrogen application grown under different agro-environments', Journal of Plant Nutrition. 40(1), pp. 82–92. doi: 10.1080/01904167.2016.1201492.
- Allen, E. J., & Morgan, D. G. 1972. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. The Journal of Agricultural Science, 78(2): 315–324. doi.org/10.1017/S0021859600069161
- Brown, R. H. 1984. 'Growth of the Green Plant', in Physiological basis of crop growth and development. American Society of Agronomy, Madison, pp. 153–174.
- Cambareri, M., Echarte, L., Della Maggiora, A., y Abbate, P. E. 2011. Rendimiento, biomasa y componentes ecofisiológicos comparados entre intercultivos de soja-maíz, soja-trigo y cultivo puro de soja. Mercosoja, 276(7620), 5.
- Camila G., Conde M.B., Martignone R. y Enrico J.M.E. 2014. Variabilidad en la sensibilidad termo-fotoperiódica de cultivares de diferente grupo de madurez y su relación con el rendimiento. para mejorar la produccion 52- INTA EEA oliveros, pp 113–120.
- Carrie, K. A. 2017. Identifying Canola Growth Stages. [En línea] Disponible en: cutt.ly/8ojDBh. Fecha de consulta: 15 abril 2019.
- Escalante, E. J. A. S. and Kohashi, S. J. 1993. 'El rendimiento y crecimiento de Frijol. Manual para la toma de datos.', Colegio de Postgraduados, Montecillo, p. 84.

- Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez-González M.T. y Escalante-Estrada Y.I. 2016. Rendimiento, eficiencia en uso del agua en canola en función del nitrógeno y distancia entre hileras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1249-1259. doi.org/10.29312/remexca.v7i6.174.
- FAOSTAT. 2016. Cultivos, cantidades de producción de canola por país, Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Available at: goo.gl/ubHq5B. Fecha de consulta: 8 octubre de 2018.
- Flórez, R. V. J. *et al.* 2006. Parámetros considerados en el análisis de crecimiento en rosa y clavel en los sistemas de cultivo en sustrato y en suelo. Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. primera Ed. Edited by U. N. de Colombia. Bogotá, Colombia. doi: 10.13140/RG.2.1.2807.6563.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. (N. 6 Serie libros, Ed.) (Quinta edi). Instituto de Geografía UNAM.
- Grant, C. A., & Bailey, L. D. 1993. Fertility management in canola production. *Canadian Journal of Plant Science*, 73(3), 651–670. doi.org/10.4141/cjps93-087
- INIFAP. 2008. Reporte anual. Ciencia y tecnología para enfrentar la crisis alimentaria. Oleaginosas Anuales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Oficinas Centrales, México D.F., Publicación Oficial Núm 2. ISBN 978-607-425-132-6
- Morrison, M. J. 1993. Heat stress during reproduction in summer rape. *Canadian Journal of Botany*, 71(2), 303–308. doi.org/10.1139/b93-031
- Mulrooney, C. N., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., & Hippen, a R. 2009. Canola meal - Feed Industry Guide. *Journal of Dairy Science*, 92(11), 5669–5676. doi.org/10.3168/jds.2009-2276
- Nykiforuk, C. L., & Johnson-Flanagan, A. M. 1999. Storage reserve mobilization during low temperature germination and early seedling growth in *Brassica*

- napus*. Plant Physiology and Biochemistry, 37(12), 939–947. doi.org/10.1016/S0981-9428(99)00108-4
- Ortegón, M. S. A., Díaz, Q. F., González, C. F. y Garza, I. 2006. La temperatura en la etapa reproductiva del cultivo de canola (*Brassica napus* L.). Agricultura Técnica en México, 32, 259–265.
- Quintana-chimal, M. A., Estrada-campuzano G., Martínez-rueda C. G., Domínguez-López A. y Morales-rosales E. J. 2013. Variabilidad genotípica en atributos ecofisiológicos del rendimiento y calidad industrial de canola. Terra latinoamericana 31: 47–56.
- Salvagotti, A. P. F. 2013. Nitrógeno y azufre en trigo. Revista Fertilizar, 26, 3–7.
- SAS, I. 2013. Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, Second Edition. Statistical Analysis System (SAS Institute, Inc.), 1–8. doi.org/10.1016/0370-2693(82)91293-X
- Shabani, A., Sepaskhah, A. R., & Kamgar-Haghighi, A. A. 2013. Growth and physiologic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) to deficit irrigation, water salinity and planting method. International Journal of Plant Production, 7(3), 569–596.
- SIAP. 2017. Datos Abiertos: Estadística de Producción Agrícola, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Available at: goo.gl/xV1RnN. Fecha de consulta 8 octubre de 2018.
- Svečnjak, Z., & Zdenko, R. 2006. Canola cultivars differ in nitrogen utilization efficiency at vegetative stage. Field Crops Research, 97(2–3), 221–226. doi.org/10.1016/j.fcr.2005.10.001
- Tamagno, L. N., Chamorro, A. M., & Sarandón, S. J. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. spp oleifera forma annua): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. Revista de La Facultad de Agronomía, La Plata, 104(1), 25–34. doi.org/10.1155/2013/709028

- Tasseva, G., De Virville, J. D., Cantrel, C., Moreau, F., & Zachowski, A. 2004. Changes in the endoplasmic reticulum lipid properties in response to low temperature in *Brassica napus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42(10), 811–822. doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.10.001
- Tripathi, M. K., Chaturvedi, S., Shukla, D. K., & Saini, S. K. 2011. Influence of integrated nutrient management on growth , yield and quality of Indian mustard (*Brassica juncea* L .) in tarai region of northern India. *Journal of Crop and Weed* 7(2), 104–107.
- Wang, W. X. *et al.*2001. ‘Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: Physiological and molecular considerations’, in *Acta Horticulturae*, pp. 285–292. doi: 10.17660/ActaHortic.2001.560.54.
- Yasari, E., & Patwardhan, A. M. 2006. Physiological Analysis of the Growth and Development of Canola (*Brassica napus* L.) Under Different Chemical Fertilizers Application. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(5), 745–752.

CAPÍTULO IV. CONTENIDO DE ACEITE Y CALIDAD DE SEMILLA DE CANOLA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE DE NITRÓGENO

OIL CONTENT AND QUALITY OF CANOLA SEED IN RELATION TO NITROGEN SOURCE

4.1 Resumen

La canola es un cultivo que se ha valorado por su diversa gama de usos con aprovechamiento en la alimentación humana y animal, es una de las principales fuentes de aceite vegetal a nivel mundial debido a su contenido y calidad. El aceite para consumo obtenido a partir del grano oscila entre 32 a 45% y es el principal producto, mientras que la pasta obtenida después de la extracción de aceite tiene características nutricionales que favorecen la alimentación animal. Las condiciones agronómicas en que se desarrolla el cultivo modifican las características morfológicas, fisiológicas y químicas de la semilla. La fertilización nitrogenada juega un papel importante en la composición de proteína, fibra, así como del contenido de aceite. La evaluación química del cultivo y de las semillas de canola, variedad "Canorte" se realizó con material vegetal obtenido mediante la aplicación de diferentes fuentes de nitrógeno (sulfato de amonio, fosfonitrato, urea, a una dosis de 100 kg N ha⁻¹) y testigo (sin aplicación de N), el cual fue sembrado en el Campus Montecillo del CP, Texcoco, Estado de México, de clima templado, bajo condiciones de lluvia y riego complementario. El análisis químico proximal indica que la calidad nutricional disminuye con la edad del cultivo. Las diferentes fuentes de nitrógeno no afectaron el contenido de aceite en las semillas de canola. El sulfato de amonio fue el que promovió mayor contenido de proteína cruda, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida y niveles bajos de lignina en el grano.

Palabras clave: *Brassica napus* L., proteína, fibra detergente, lignina, sulfato de amonio, fosfonitrato, urea.

4.2 Abstract

Canola, a crop that has been valued for its diverse range of uses as well as animal feedstuff, is one of the main sources of vegetable oil worldwide, due to its content and quality of oil. The oil for consumption obtained from the grain is the main product, it contains around 32 to 45% of oil, while the paste obtained after the extraction of oil, has nutritional characteristics that favor animal feeding. The agronomic conditions in which the crop develops modify the morphological, physiological and chemical characteristics of the seed. Nitrogen fertilization plays an important role in the composition of protein, fiber, as well as oil content. The chemical evaluation of the crop and canola seeds variety "Canorte" was performed with plant material obtained with 100 kg N ha⁻¹ of different sources (ammonium sulfate, phosphonitrate, urea) and control (without application of N), which were planted in Montecillo, Texcoco, State of Mexico, under temperate climate, under rainy-fed conditions with supplementary irrigation. The Proximal chemical analysis indicated that the nutritional quality of the crop decreases with crop aging. The different evaluated nitrogen sources showed no influence on the amount of oil in canola seeds. The SA was the one that promoted the highest amount of crude protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber, and I also present low levels of lignin.

Keywords: *Brassica napus* L., protein, detergent fiber, lignin, ammonium sulfate, phosphonitrate, urea.

4.3 Introducción

En las últimas dos décadas, las semillas oleaginosas de *Brassica* se han convertido en la tercera fuente mundial de aceite vegetal, detrás de la palma y soya (Daun *et al.*, 2011; Kennedy *et al.*, 2011; List, 2017). Dentro de las semillas oleaginosas, la canola es el cultivo que ocupa el segundo lugar en la producción mundial de semillas, con un 13% del total, en comparación con el 57% para la soya y 10% para semillas de algodón (Daun *et al.*, 2011). Los principales productores de semilla y aceite de canola son Canadá, Estados Unidos, China e India (List, 2017)

La canola (*Brassica napus* L.), es una semilla oleaginosa la cual fue mejorada genéticamente para lograr que la semilla tuviera menos de 2% de ácido erúxico en el aceite y menos de 30 micromoles de glucosinolatos por gramo de pasta (Calzada *et al.*, 2017). Este cultivo se ha valorado por su diversa gama de usos con aprovechamiento en la alimentación humana y animal (Calzada *et al.*, 2017; Kennedy *et al.*, 2011), donde el principal producto es la producción de aceite para consumo humano; el cual, es considerado por algunos como el mejor aceite, debido a sus propiedades nutricionales. Tiene niveles muy bajos de ácidos grasos saturados (6%), niveles altos de ácido graso monoinsaturado, ácido oleico (58%) y niveles moderados de ácidos grasos poliinsaturados (36%) en comparación con otros aceites vegetales comestibles (Eskin y McDonald, 1991). La pasta que permanece después de la extracción de aceite, nutricionalmente es alta en proteínas, es usada principalmente para mezclas de alimentos para animales o incluso como fertilizante (Becker *et al.*, 1999).

Otro de los usos que se le puede dar a la canola es como hortaliza, melífera (nectarífera), forrajera (Aguilar, 2007) y producción de biodiesel (Canola council, 2017). Los residuos de cosecha son empleados para la producción de champiñones y para elaboración de composta (Aguilar y Cerero, 2009). Su forraje es considerado de buena calidad, debido a su composición nutricional, sin embargo es necesaria la adecuada selección del tipo y cultivar de canola, para lograr altos rendimiento de materia seca y nutrientes (Reta-Sánchez *et al.*, 2017).

Las condiciones de crecimiento afectan las características morfológicas, fisiológicas en el cultivo, así como los componentes químicos de la semilla (Becker *et al.*, 1999; Daun *et al.*, 2011). El N es un nutriente que mejora los procesos metabólicos de la plantas, aumenta el crecimiento vegetativo, reproductivo y el rendimiento del cultivo, la cantidad de proteína depende totalmente de la cantidad de fertilizante N (Nasim *et al.*, 2012).

Hocking *et al.* (1997a), demostró que la fertilización nitrogenada cambió la morfología de la planta, aumentando el número de silicuas por planta, lo cual contribuyó a la obtención de mayor rendimiento en grano. Por otra parte, demostró

que las concentraciones de aceite en las semillas disminuyen con dosis altas de fertilizante nitrogenado (Hocking *et al.*, 1997b). La composición nutricional de la semilla puede ser afectada por condiciones ambientales, las condiciones de cosecha, el cultivar y procesamiento de la semilla (Canola Council, 2009). Otro estudio realizado en campo, indica la importancia que tienen las diferentes fuentes de nitrógeno sobre el rendimiento de semilla, cantidad de aceite y proteína en semillas de canola, en este estudio se demostró que tanto la urea como el sulfato de amonio tienen influencia directa sobre estos componentes, sobre todo el sulfato de amonio, por la alta demanda de azufre en el cultivo (Öztürk, 2010). Fismes (2000) destaca la importancia de este mineral, ya que influye para mantener un nivel de aceite y calidad de ácidos grasos en semillas de canola.

4.4 Materiales y métodos

Se usaron semillas del cultivar de canola “Canorte 2010”, de la cosecha de noviembre de 2017 la cual se realizó a los 160 días después de la siembra y residuos de cosecha del cultivo, hojas (H), tallos (T) y valvas (V). Se evaluaron cuatro tratamientos: Testigo (T), Urea (U), Fosfonitrato (FN) y Sulfato de Amonio (SA) con cuatro repeticiones, bajo una dosis de fertilización de 100 Kg ha⁻¹, suministrados en dos etapas, (50 kg de N ha⁻¹ en la siembra y 50 kg ha⁻¹ en la primera escarda). La siembra de este cultivar se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México (19°29'N, 98°53'O, a 2250 msnm), bajo condiciones de régimen de lluvia con riego complementario. El clima es templado (Cw; García, 2004), con suelo de textura arcillosa, pH 6.5 y 2% de materia orgánica.

La cosecha se realizó de manera manual, los tratamientos se separaron en costales, para posterior a ello desprender las semillas de las valvas, mediante golpes al costal (tapiscar), se retiraron los residuos de tallos y valvas mediante cernidor. La limpieza de semilla se realizó con soplador eléctrico. Los residuos de cosecha (H, T, V) se homogeneizaron, sin hacer distinción entre tratamientos; lo anterior, para tener una

idea general de su composición química, para su posible uso como un cultivo de doble propósito al final de la cosecha.

El análisis químico de semillas y residuos de cosecha (H, T, V), se realizó en el laboratorio de nutrición animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Se realizó el análisis químico proximal mediante metodología indicada en el manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal (AOAC, 1975; Sosa de Pró, 1979), con semillas previamente homogeneizadas. La determinación de las variables de estudio se realizó de la siguiente manera:

- Contenido de humedad: para ello la muestra se dejó secar en estufa con 50 a 55 °C, hasta alcanzar peso constante.
- Extracto etéreo (EE): se pesó 1 g de muestra previamente seca dentro de un dedal de celulosa forrado internamente con papel filtro y tapado con algodón, el cual fue colocado dentro del portadedal y fijado bajo el condensador del aparato de extracción Goldsfich; en el vaso de extracción, se agregaron 40 mL de éter dietílico anhidro y se inició el calentamiento, hasta ebullición, que se mantuvo durante seis horas; Se dejó enfriar, se evaporó el éter y se pesó, para calcular el del extracto etéreo (%).
- Fibra cruda. Se tomó el residuo proveniente de la determinación de EE y se adicionaron 200 mL de solución de ácido sulfúrico 0.225 N caliente (80 °C), se conectó al vaso digestor de fibra y se dejó hervir durante 30 min; se filtró al vacío y se lavó con agua hirviendo hasta que no hubo reacción ácida con anaranjado de metilo; se transfirió el residuo a un vaso de Berzelius, y se dejó secar a 110 °C 12 h; se dejó enfriar y se pesó; se incineró entre 500 y 550 °C durante 2 h, se dejó enfriar y se pesó.
- Fibra detergente neutra: la muestra se dejó hervir bajo reflujo con un detergente neutro. El detergente debe ser neutro para evitar que algunos compuestos que pertenecen a la fibra sean disueltos como sucede con las hemicelulosas que se disuelven a pH ácido y con la lignina que se disuelve a pH alcalino.

- Fibra detergente acida y lignina: la muestra es sometida a una digestión en frío con H_2SO_4 al 72% para oxidar los compuestos orgánicos excepto la lignina, el residuo contiene lignina y sílice, la lignina se separa de la sílice oxidándola a 500°C .
- Proteína cruda: Se depositó 1g de muestra en un matraz Kjeldahl y se adicionaron 10g de mezcla catalizadora y 25 mL de ácido sulfúrico concentrado; se colocó el matraz en el digestor hasta adquirir coloración transparente, se adicionaron 20 g de granallas de zinc e hidróxido de sodio (100 mL); se destiló recogiendo 250 ml del destilado que se titularon con ácido clorhídrico 0.1 N.
- Cenizas y materia orgánica: la muestra se sometió a combustión entre 550 y 600°C , la materia orgánica es oxidada y al residuo que contiene la materia mineral se le llama cenizas.

4.4.1 Análisis estadístico

Los datos registrados mediante los procedimientos señalados anteriormente fueron sometidos a un análisis de varianza, se realizó con el paquete estadístico SAS versión 9.4 y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Para determinar la correlación de las variables evaluadas, se aplicó un análisis de correlación de Pearson ($\alpha = 0.05, 0.01$ y <0.0001) en el Software estadístico R 3.4.3.

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Composición química de semillas de canola

Dentro de las variables evaluadas, la cantidad de aceite crudo o extracto etéreo (EE) es la fracción más importante de la semilla, ya que es el principal producto de importancia económica. Su concentración no presentó diferencias significativas en los tratamientos evaluados.

Mientras que la proteína cruda (PC) y fibra cruda (FC) tienen importancia en la formulación de dietas y su uso como forraje. Estadísticamente el contenido de PC

fue similar al aplicar sulfato de amonio (SA, 26.9 %) o Fosfonitrato (FN, 26 %), estos tratamientos aumentaron en promedio el 5.5 % comparados con el testigo (T, 25.1 %). El contenido de FC se comportó de manera distinta en todos los tratamientos, la aplicación de U fue la que aumentó la concentración de esta variable el cual fue de 10.2%, éste supero el 12% al SA, 10% al T y 6% al FN.

Cabe destacar que el contenido de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (FDA) y lignina (LIG) es fundamental para la formulación de dietas para la alimentación animal. Con la aplicación de SA la cantidad de FDN fue de 64.1 %, las otras dos fuentes de nitrógeno (U y FN) se comportaron de manera similar; mientras que en el testigo la cantidad fue más baja (56 %), presentó una proporción alta de FDA (46.3 %) y LIG (36.9 %). Con respecto al testigo el FN presento 9 % menos concentración de FDA, seguido de U (5 %) y SA (4 %), en cuanto al contenido de LIG disminuyó 16 % en FN, 22 % en SA y 33 % en U (Cuadro 10).

El contenido de materia orgánica (MO) fue mayor en SA, FN y T, la cantidad de cenizas (CEN) fue menor en los mismos, respectivamente. El contenido de aceite tuvo una correlación negativa con el porcentaje de humedad (H) ($r = -0.78$), CEN ($r = -0.76$), PC ($r = -0.58$), FC ($r = -0.60$) y LIG ($r = -0.78$) y positiva con la cantidad de MO ($r = 0.76$). La FC tiene una asociación positiva con el contenido de H ($r = 0.67$) y negativa con el extracto libre de nitrógeno (ELN, $r = -0.91$; Cuadro 11). La cantidad de FDN es recíproco a la cantidad de FDA ($r = 0.71$), donde la H es un factor que altera a ambas variables. Mientras que la LIG está relacionado con la cantidad de CEN ($r = 0.54$) y PC ($r = 0.52$).

Cuadro 10. Composición química en base seca de semillas de canola (*Brassica napus* L.) en función de la fuente nitrogenada. Montecillo, Municipio de México, México. 2017.

Componentes (%)	Tratamiento			
	T	FN	SA	U
Humedad	9.19 _{ab}	9.39 _{ab}	10.13 _a	7.69 _b
Cenizas	4.75 _a	4.78 _a	4.76 _a	4.53 _b
Materia orgánica	95.2 _b	95.2 _b	95.2 _b	95.5 _a
Proteína cruda	25.1 _{ab}	26.0 _a	26.9 _a	22.5 _b
Extracto etéreo	35.6 _a	35.6 _a	35.8 _a	37.7 _a
Fibra cruda	9.2 _{bc}	9.6 _{ab}	9.0 _c	10.2 _a
Extracto libre de nitrógeno	25.3 _a	24.0 _a	23.8 _a	25.0 _a
Fibra detergente neutra	56.0 _b	60.6 _{ab}	64.1 _a	60.4 _{ab}
Fibra detergente acida	46.3 _a	42.2 _b	44.6 _{ab}	44.2 _{ab}
Lignina	36.9 _a	33.1 _{ab}	28.8 _{bc}	24.6 _c

Valores con igual letra en las filas no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Cuadro 11. Análisis de correlación de las variables de estudio

	H	CEN	MO	PC	EE	FC	ELN	FDN	FDA	LIG
H	1	0.87 ^{***}	-0.87 ^{***}	0.46 ^{NS}	-0.78 ^{**}	0.67 ^{**}	-0.57 [*]	0.49 [*]	0.55 [*]	0.39 ^{NS}
CEN		1	-1 ^{***}	0.48 [*]	-0.76 ^{**}	0.45 ^{NS}	-0.38 ^{NS}	0.26 ^{NS}	0.32 ^{NS}	0.54 [*]
MO			1	-0.48 [*]	0.76 ^{**}	-0.45 ^{NS}	0.38 ^{NS}	-0.26 ^{NS}	-0.32 ^{NS}	-0.54 [*]
PC				1	-0.58 ^{**}	0.36 ^{NS}	-0.60 ^{**}	-0.06 ^{NS}	-0.10 ^{NS}	0.52 [*]
EE					1	-0.60 ^{**}	0.46 ^{NS}	-0.05 ^{NS}	-0.24 ^{NS}	-0.78 ^{**}
FC						1	-0.91 ^{***}	0.17 ^{NS}	0.13 ^{NS}	0.22 ^{NS}
ELN							1	-0.12 ^{NS}	0.01 ^{NS}	-0.14 ^{NS}
FDN								1	0.71 ^{**}	-0.44 ^{NS}
FDA									1	-0.08 ^{NS}
LIG										1

H: Humedad, CEN: Ceniza, MO: Materia orgánica, PC: Proteína cruda, EE: Extracto etéreo, FC: Fibra cruda, ELN: Extracto libre de nitrógeno, FDN: Fibra detergente neutra, FDA: Fibra detergente acida, LIG: Lignina; *, **, *** diferencias $p > 0.05$, 0.01 y < 0.0001 , NS: Diferencias no significativas ($p > 0.005$).

Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación de fertilizantes nitrogenados no sólo aumenta la materia seca, también influye en el contenido de proteína. Soto *et al.* (2004), demostraron que el porcentaje de proteína del forraje (maíz) aumenta mediante la aplicación de dosis ascendentes de nitrógeno (N) en forma de urea (0, 100, 200 y 400 kg de N ha⁻¹) y, como consecuencia, en el contenido proteico del forraje. Escarela *et al.* (2017), reportan respuestas similares, la fertilización con N incrementó la producción de forraje, la proteína cruda y la acumulación de N en pasto Mombasa, lo que indica la importancia de este nutriente para la calidad nutricional del forraje, ya que este es uno de los atributos de mayor importancia. Con base en lo anterior y a los resultados obtenidos, se demuestra que hay una relación entre la PC y cantidad de materia seca, así como lo demostró Crespo (2011), al evaluar la influencia de cuatro niveles de fertilizante nitrogenado (0, 160, 320 y 640 kg de N/ha/año) en diferentes especies forrajeras (alfalfa, *Cynodon dactylon*, trébol blanco y Festuca), demostrando que hay una respuesta lineal en las dosis de fertilizante nitrogenado sobre la cantidad de materia seca y proteína cruda.

Por otra parte Cecato *et al.* (2001), menciona, que el N además de incrementar los niveles de PC, también resulta en reducción en los contenidos de FDN y FDA en la materia seca del forraje producido. Las diferentes fuentes de nitrógeno presentaron mayor acumulación de PC y reducción en FDA. Sin embargo, la FDA fue superior al testigo. El contenido de FDN y FDA fue similar a reportados en diferentes especies forrajeras (Aguilhon *et al.*, 2004; Castagnara *et al.*, 2011), el contenido FDN difiere al encontrado en otros forrajes, la semilla de canola presenta menor a los reportados en algodón, heno y soya, con valores de 90.9, 76.6 y 66.3 %, respectivamente (Garza, 2017). En cuanto al contenido de lignina (L) los fertilizantes nitrogenados produjeron los niveles más bajos en comparación con el testigo, lo cual es deseable, ya que la L es una fracción de FDN que es completamente

indigerible, tanto para monogástricos como para poligástricos y su determinación sirve para predecir la digestibilidad en materia seca y energía de un alimento (Machado, 1997). Por otro lado, la importancia de la fracción de fibra cruda en la dieta, radica en regular la función ruminal, mejora la absorción de nutrientes, evita la acidosis y diluirá posibles efectos anti-nutricionales, lo cual redundará en mejores resultados en la producción animal (Cisternas *et al.*, 2011).

Se ha demostrado en el cultivo de canola que tasas altas de N puede aumentar el contenido de aceite y reducir el contenido de proteína (Fimes *et al.*, 2000; Süzer, 2015). Los resultados de este estudio indican una relación lineal negativa entre la cantidad de aceite y el contenido de proteína cruda. Las fuentes de fertilizante no afectaron el contenido de aceite en la semilla el cual osciló entre 35.6 a 37.7 %, coincidiendo con lo reportado por Becker *et al.* (1999).

4.5.2 Composición química de la planta de canola

Los resultados del análisis de la composición química de las diferentes estructuras de las plantas de canola, las cuales fueron realizadas al alcanzar la madurez fisiológica, presentaron diferencias estadísticas significativas. La hoja mostró mayor porcentaje de cenizas (C, 25.45 %), proteína cruda (PC, 17.14 %) y extracto etéreo (EE, 4.02 %) en comparación a los valores de los tallos, superando el 75% C, 74% PC y 80% EE, en las valvas estas variables fueron superiores el 54% C, 50% PC y 51% EE.

Los tallos presentaron mayor contenido de fibra cruda (FC, 53.91 %) y materia orgánica (MO, 93.74 %), la MO fue superior 5.4 y 20.5 y el contenido de fibra 40% y 88% mayor en valvas y hojas respectivamente. En cuanto al contenido de humedad, no hubo diferencia estadística (Cuadro 12).

Cuadro 12. Composición de residuos del cultivo de canola (*Brassica napus* L.).

Componentes (%)	Estructura de la planta		
	Valvas	Hojas	Tallos
Humedad (H)	8.84 _a	9.58 _a	8.65 _a
Cenizas (CEN)	11.31 _b	25.45 _a	6.27 _c
Materia orgánica (MO)	88.70 _b	74.55 _c	93.74 _a
Proteína cruda (PC)	8.50 _b	17.14 _a	4.51 _c
Extracto etéreo (EE)	1.95 _b	4.02 _a	0.79 _c
Fibra cruda (FC)	32.51 _b	6.74 _c	53.91 _a
Extracto libre de nitrógeno (ELN)	75.75 _a	76.55 _a	34.53 _b

Valores con igual letra en las filas no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

La calidad nutricional del cultivo disminuye de acuerdo con su estado fenológico. Cisternas *et al.* (2011), observaron disminución en la calidad nutricional de diferentes especies de Brassicas forrajeras debido a la reducción gradual de hojas y el avance en el tiempo, lo que afecta el nivel de proteína y energía del cultivo, dependiendo del órgano de la planta y su estado de madurez. Además, reportan que el nivel de proteína fue alto en las primeras etapas de desarrollo. Los resultados de esta investigación concuerdan con los niveles indicados por estos autores en la madurez fisiológica; la cual, fue de 6% en tallos y 18% en hojas. Diversos estudios relacionan la alta correlación en la concentración de N en los tejidos con las hojas y el contenido de PC por el hecho de que N está en mayores proporciones en los cloroplastos, además la cantidad de PC depende de la cantidad de N aplicado (Nasim *et al.*, 2012; Stocking y Ongun, 1962).

Por otra parte, el contenido de fibra es mayor a otros cultivos, los tallos presentan el 54% de FC mientras otros cultivos como maíz, sorgo y trigo, los tallos presentan el 34, 33 y 41 %, respectivamente; lo cual, hace el rastrojo de canola sea un producto competitivo (Aguilar y Cerero, 2009). El contenido de fibra en la planta es una variable importante ya que su consumo y digestibilidad dependen de la madurez

del cultivo; cuando la dieta es alta en FDN el consumo del alimento disminuye, de igual forma cuando los niveles de FDA son altos en una ración, la digestibilidad se reduce, ambas fracciones aumentan con la madurez del forraje, su conocimiento es necesario para mantener los requerimientos químicos para el apropiado funcionamiento del rumen (Garza, 2017).

4.6 Conclusiones

La fertilización nitrogenada incrementa el contenido de proteína cruda, fibra cruda y fibra detergente neutra en la semilla de canola. Con el sulfato de amonio y fosfonitrato se lograron los valores más altos de proteína cruda y fibra detergente neutra, pero disminuye el contenido de fibra cruda. El contenido de aceite (%) no fue afectado por la fertilización nitrogenada. Existe una correlación negativa entre contenido de aceite con fibra cruda, lignina y, positiva, con materia orgánica.

En relación con la composición química, se observan variaciones entre estructuras de la planta; las hojas presentan el nivel más alto en cenizas, proteína cruda, aceite y extracto libre de nitrógeno. El tallo presenta los valores más bajos en estas variables.

4.7 Literatura citada

- Aguilar, y Cerero, N. 2009. Calidad de rastrojo de la canola. Recuperado de Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas. [En línea] Disponible en: cutt.ly/cojAI0
- Aguilar, F. P. 2007. Canola: Una excelente alternativa para la conversión productiva en valles altos de México. Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas (boletín), 1–8.
- Agulhon, R. A., Jobim, C. C., Branco, A. F., y Dias, F. J. 2004. Valor nutritivo da massa de forragem ofertada em uma pastagem de capim-Marandu (*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Webster var Marandu) sob pastejo no inverno. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26(2), 265–272. doi.org/10.4025/actascianimsci.v26i2.1879.
- AOAC. 1975. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. (12 th edit). Washington, USA.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- Becker, H. C., Löptien, H., y Röbbelen, G. 1999. Breeding: an over view. En Gómez-Campo (Ed.), *Biology of Brassica Coenospecies* (pp. 413–460). Elsevier.
- Calzada, R. J. E., Narváez, N. J. A., Aguilar, C. R., Mely, R. C., López, S. M., Flores, L. L. F., Ornelas, R. P., Sánchez, C. E., Valencia, A. M. S., Javier, M. J. F., Bonilla, C. J. A., y Méndez, G. M. 2017. Agenda técnica agrícola de Hidalgo. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, pp 1-116.
- Canola council, of Canada. 2017. Canola: The perfect candidate for biodiesel and renewable diesel. [En línea] Disponible en: goo.gl/Gy12LZ. Fecha de consulta: 9 septiembre de 2018.
- Castagnara, D. D., Mesquita, E. E., Neres, M. A., Oliveira, P. S. R., Deminicis, B. B.,

- y Bamberg, R. (2011). Valor Nutricional e Características Estruturais de Gramíneas Tropicais sob Adubação Nitrogenada. *Archivos de Zootecnia*, 60(232), 931–942.
- Cecato, U., De Carvalho, C. C. R., Weber, do C. M., Peternelli, M., Júnior, J. A., Jobim, C. C., y Perissanto, C. C. C. 2001. Perdas de Forragem em Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv . Tanzania-1) Manejado sob Diferentes Alturas sob Pastejo. *Rev. Bras. Zootec*, 30(2), 295–301.
- Cisternas, E., Elizalde, H., Galdames, R., Hepp, C., Pinochet, D., Salvo, R., Tapia, M., y Teuber, O. (2011). Cultivo y utilización de brassicas forrajeras en la Patagonia húmeda (AYSÉN) (C. H. K., Ed.). Coyhaique, Chile, pp 1-116.
- Crespo, D. G. 2011. Influencia de los fertilizantes nitrogenados y de las leguminosas sobre la producción de materia seca y proteína bruta de pastos en regadío bajo condiciones mediterráneas. *Pastos*, 5(1), 11–117.
- Daun, J. K., Eskin, N. A. M., y Hickling, D. 2011. Canola: chemistry, production , processing and utilization. Elsevier.
- Escarela, C. M., Pietroski, M., De Mello Prado, R., Campos, C. N. S., y Caione, G. 2017. Effect of nitrogen fertilization on productivity and quality of Mombasa forage (*Megathyrsus maximus* cv. Mombasa). *Acta Agronomica*, 66(1), 42–48.
- Eskin, N. A. M., y McDonald, B. E. 1991. Canola Oil. *BNF Nutrition Bulletin*, 63, 138–146.
- Fismes, J., Vong, P. C., Guckert, A., y 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. doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00052-0.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Quinta edi; N. 6 Serie libros, Ed.). Instituto de Geografía UNAM.
- Garza, F. J. de D. 2017. Importancia de la fibra en la salud ruminal del ganado productor de carne. *Actualidad Ganadera*, 36–37.

- Hocking, P. J., Kirkegaard, J. A., Angus, J. F., Gibson, A. H., y Koetz, E. A. 1997. 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, 107–125. doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01063-5.
- Hocking, P. J., Randall, P. J., y De Marco, D. 1997. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: Partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects on yield components. *Field Crops Research*, 54(2–3), 201–220. doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00049-X.
- Kennedy, Y., Yokoi, S., Sato, T., Daimon, H., Nishida, I., y Takahata, Y. 2011. Genetic variation of storage compounds and seed weight in rapeseed (*Brassica napus* L.) germplasms. *Breeding Science*, 61, 311–315. doi.org/10.1270/jsbbs.61.311.
- List, G. R. 2017. Rapeseed (canola) oil. Market Report Lipid Technology May 2017. *Lipid Technology*, 29(5–6). doi.org/10.1002/lite.201700017.
- Machado, O. 1997. Valor nutricional de los alimentos : elementos de evaluación y factores de calidad (1 ed; E. U. de Antioquia, Ed.). Medellín, Colombia.
- Nasim, W., Ahmad, A., Bano, A., Olatinwo, R., Usman, M., Khaliq, T., Wajid, A., Hammad, H. M., Mubeen, M., y Hussain, M. 2012. Effect of Nitrogen on Yield and Oil Quality of Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Hybrids under Sub Humid Conditions of Pakistan. *American Journal of Plant Sciences*, 03, 243–251. doi.org/10.4236/ajps.2012.32029.
- Öztürk, Ö. 2010. Effects of Source and Rate of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield components and Quality of Winter Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 132–141. doi.org/10.4067/S0718-58392010000100014.
- Reta-Sánchez, D., Serrato-Corona, J. S., Quiroga-Garza, H. M., Figueroa-Viramontes, U., y Gaytán-Mascorro, A. 2017. Potencial forrajero de cultivares de canola primaverales e invernales en la Comarca Lagunera, México. *Revista*

Fitotecnia Mexicana, 40(2), 227–233.

Sosa de Pró, E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Chapingo, México.

Soto O., P., Jahn B., E., y Arredondo S., S. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. Agricultura Técnica, 64(2), 156–162. doi.org/10.4067/S0365-28072004000200004.

Stocking, R. C., y Ongun, A. 1962. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. American Journal of Botany, 49(3), 284–289. doi.org/10.1002/j.1537-2197.1962.tb14939.x.

Süzer, S. 2015. Effects of plant nutrition on canola (*Brassica napus* L.). Growth, 16(2), 87–90.

CONCLUSIÓN GENERAL

El crecimiento del cultivo fue afectado por las diferentes fuentes de nitrógeno, que incrementaron los índices y tasas de crecimiento, producción de biomasa, producción de silicuas, rendimiento de grano y cambios en la composición química de la semilla en relación con el testigo (sin fertilización nitrogenada). El rendimiento está asociado al número de ramas, número de silicuas, número de granos por silicua, peso seco de grano y biomasa total. El índice de cosecha presenta asociación con el peso seco de grano.

La fertilización nitrogenada incrementa el contenido de proteína cruda, fibra cruda y fibra detergente neutra en la semilla de canola. Con el sulfato de amonio y fosfonitrato se logran los valores más altos de proteína cruda y fibra detergente neutra, pero disminuye el contenido de fibra cruda. El contenido de aceite (%) no fue afectado por la fertilización nitrogenada. Existe una correlación negativa entre el contenido de aceite con la fibra cruda, lignina y positiva con la materia orgánica.

En relación con la composición química se observan variaciones entre las estructuras de la planta; las hojas presentan el nivel más alto en cenizas, proteína cruda, aceite y extracto libre de nitrógeno. El tallo presenta los valores más bajos en estas variables.

Con el sulfato de amonio, se logró la mayor expresión de los componentes morfológicos, fisiológicos, tasas de crecimiento, biomasa y rendimiento de grano; además, mayor contenido de proteína cruda, fibra detergente neutra, pero valores más bajos en fibra detergente acida y lignina.