



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS
DE HIDALGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRODUCCIÓN DE GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) EN
FUNCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN NITRÓGENADA**

BALDEMAR VALENCIA VALENCIA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO HORTICULTOR

DIRECTORA DE TESIS

DRA. MARICELA APÁEZ BARRIOS

COORDIRECTOR

DR. PATRICIO APÁEZ BARRIOS

APATZINGÁN DE LA CONSTITUCIÓN, MICHOACAN DE OCAMPO

AGOSTO 2020

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRODUCCIÓN DE GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) EN FUNCIÓN
DE LA FERTILIZACIÓN NITRÓGENADA

TESIS QUE PRESENTA

BALDEMAR VALENCIA VALENCIA

Evaluada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO HORTICULTOR

COMITÉ PARTICULAR

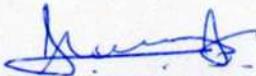
Directora:


Dra. Maricela Apérez Barrios

Codirector:


Dr. Patricio Apérez Barrios

Asesor:


Dr. Juan Carlos Álvarez Hernández

Apatzingán, Michoacán, México. Julio del 2020

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de corazón a dios todo generoso por su gratitud conmigo en el transcurso de mi formación, quien con sus bendiciones siempre lleno mi vida para poder salir adelante y a toda mi familia por estar siempre a mi lado, en especial a mi padre Baldemar Valencia Valencia y a mi madre Elizabeth Valencia Nuñez por todos los consejos y apoyos que me brindaron durante mi formación.

A mis maestros, por su formación, pero en especial a la Dra. Maricela Apáez Barrios que gracias a su asesoría y firmeza me llenaron de enseñanzas y conocimientos muy valiosos, gracias a sus consejos que día con día me hicieron ser alguien mejor.

También quiero agradecer a la Facultad De Ciencias Agropecuarias por el alojo y estadía durante mi carrera

DEDICATORIAS

El presente trabajo investigado lo dedico principalmente a dios, por darme fuerza y voluntad para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y gran sacrificio que me han dado durante todos estos años, gracias a ustedes he podido llegar a concluir una de mis metas más anheladas y concretas, gracias a ustedes por forjarme de tal manera para poder llegar hacer quien soy, es un orgullo para poder darles las gracias por ser los mejores padres.

A mis hermanas, que a pesar de todas las dificultades siempre conté con su apoyo, tanto físico como emocional, gracias a ustedes por todas las palabras de apoyo que me dieron durante este transcurso.

A mis maestros, ya que gracias a sus conocimientos he podido llegar a concluir el proceso de mi formación, gracias por su apoyo.

Y a todas las personas que estuvieron conmigo en el transcurso de mi carrera, gracias también a ustedes por aportarme ese granito de arena.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
INTRODUCCIÓN	1
REVISION DE LITERATURA	5
Origen.....	5
Producción mundial.....	5
Producción nacional	5
Importancia	6
Taxonomía y morfología.....	7
Requerimientos edafoclimáticos.....	9
Manejo agronómico.....	10
Plagas y enfermedades.....	12
Requerimiento de nitrógeno.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Ubicación del sitio experimental.....	17
Descripción del genotipo de girasol.....	18
Preparación del terreno.	18

Siembra.....	18
Control de malezas y plagas.....	19
Riegos.....	19
Fertilización experimental.....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Clima y fenología.....	23
Altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas.....	25
Área foliar.....	32
Diámetro del capítulo	33
Número de semillas en cada estrato de la planta.....	34
Rendimiento de grano.....	36
Biomasa total y distribución a los órganos de la planta.....	37
CONCLUSIONES.....	41
LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Producción nacional de girasol (<i>Heliantus annus</i> L.) SIAP, 2018.....	5
Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el cultivo de girasol en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019	19
Cuadro 3. Aparición de las fases fenológicas en el cultivo de girasol en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	23
Cuadro 4. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la primera lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.	25
Cuadro 5. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la segunda lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	26
Cuadro 6. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la tercera lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	27
Cuadro 7. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la cuarta lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019	28
Cuadro 8. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la quinta lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	29

Cuadro 9. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH)
para la sexto lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno.
Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019..... 30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación del sitio experimental.....	16
Figura 2. Distribución de los tratamientos en campo. Apatzingán, 2019.....	20
Figura 3. Área foliar función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	32
Figura 4. Diámetro del capítulo en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	33
Figura 5. Número de semillas en cada estrato del capítulo del girasol función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	34
Figura 6. Rendimiento de grano función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	35
Figura 7. Biomasa total y distribución en los órganos de la planta en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.....	37

RESUMEN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) se utiliza de diversas formas desde la alimentación humana hasta la producción de biocombustible. Aunque el cultivo tiene alto potencial de rendimiento existen diversos factores que lo pueden limitar, entre ellos el nitrógeno. Michoacán no figura entre los principales estados productores en del país. Sin embargo, por las condiciones ambientales que existen en la zona es factible la producción de girasol en la zona. Por lo que el objetivo de la investigación fue evaluar si la aplicación de nitrógeno en el cultivo de girasol para el valle de Apatzingán modifica las fases fenológicas, incrementa la mayor altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar de la planta, diámetro del capítulo, el rendimiento y acumulación de biomasa total. El trabajo se desarrolló en el campo experimental en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Los tratamientos consistieron en la aplicación de nitrógeno a las dosis de 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ más un testigo absoluto sin aplicación. El tiempo a ocurrencia de las fases fenológicas en el cultivo de girasol no se modificó por la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno. La aplicación de nitrógeno favoreció el incremento en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas, el área foliar, el tamaño del capítulo y la distribución de materia seca hacia el grano y hojas. A partir de la aplicación de 150 kg ha⁻¹ de N se logró el mayor rendimiento de grano y biomasa total. Bajo condiciones de Apatzingán el cultivo de girasol presenta rendimientos altos, similares a los registrados en otras regiones productoras.

Palabras clave: Girasol, Aceite, Biocombustible, Nitrógeno, Cultivo.

ABSTRACT

The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is used in various ways from human food to biofuel production. Although the crop has high yield potential, there are several factors that can limit it, including nitrogen. Michoacán is not among the main producing states in the country. However, due to the environmental conditions that exist in the area, it is feasible to produce sunflower in the area. Therefore, the objective of the research was to evaluate if the application of nitrogen in the sunflower crop for the Apatzingán Valley modifies the phenological phases, increases the greater height of the plant, stem diameter, number of leaves, leaf area of the plant, diameter of the chapter, the yield and accumulation of total biomass. The work was developed in the experimental field at the Faculty of Agricultural Sciences (FCA) of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). The treatments consisted in the application of nitrogen at doses of 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ plus an absolute control without application. The time of occurrence of the phenological phases in the sunflower crop was not modified by the application of different doses of nitrogen. The application of nitrogen favored the increase in plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, chapter size and distribution of dry matter to the grain and leaves. From the application of 150 kg ha⁻¹ of N, the highest yield of grain and total biomass was achieved. Under Apatzingán conditions, sunflower cultivation presents high yields, similar to those registered in other producing regions.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) se utiliza para la alimentación humana y animal; además, esta oleaginosa se utiliza para producir aceite. El girasol puede usarse también para producir biocombustible, que es una alternativa para generar divisas en la agricultura (Silva *et al.*, 2007). Dicho cultivo pertenece a la tribu Heliantheae, dentro de la familia Asteraceae y consta de 49 especies, de las cuales, 13 son anuales y 36 perennes. Su centro de origen se encuentra en América del Norte, donde crecen adaptadas a diversos hábitats y altamente variables en cuanto a caracteres morfológicos y fisiológicos (Poverene, 2002). El girasol cultivado (*Helianthus annuus* L.) es una especie de gran importancia a nivel mundial por su alto contenido de aceite (Luévanos *et al.*, 2010), el cual es de alta calidad y alto contenido proteico; además, el resto de la planta puede utilizarse como forraje y se considera que es un cultivo con bajos requerimientos de producción (Poverene, 2002).

Es uno de los cultivos oleaginosos más importante en la producción de aceite, para el consumo humano, junto con la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), la soya [*Glicine max* (L.) Merr.] y la colza (*Brassica napus* L.) (USDA, 2020). Dicho aceite es considerado como uno de los aceites con mayores beneficios para la salud, por su alto contenido de grasas poliinsaturadas. En su composición destacan principalmente los ácidos linoléico, oleico, palmítico y esteárico (Silva *et al.*, 2009). Otro producto importante del girasol, es la pasta residual obtenida después de realizar la extracción del aceite, la cual contiene de 40-50% de proteínas con aminoácidos favorables para la alimentación del ganado y aves. El receptáculo también es utilizado ya que es rico en caroteno, niacina y tiamina, y bajo en lisina (Luévanos *et al.*, 2010).

Debido a la importancia de este cultivo que, aunque puede usarse de diferentes formas la principal de ellas es para la obtención de aceite, es necesario buscar la forma de obtener rendimientos altos (Orioli *et al.*, 1998). Esto se logra con el manejo agronómico, principalmente

todo lo relacionado con la nutrición de la planta, que repercutirá en la acumulación de biomasa, tamaño y la duración del aparato fotosintético, que están relacionados directamente con el rendimiento agronómico. Es de esperarse que las estrategias que conduzcan al incremento de éstos, darán en consecuencia un rendimiento más alto.

En la mayoría de los cultivos, el N ocasiona incrementos en el área foliar (AF), lo cual puede ser producto del aumento en el número y el tamaño de las hojas (McCullough *et al.*, 1994). En cereales, el incremento en el número de hojas con N puede deberse a un mayor número de tallos, y también a la expansión foliar a causa de un mayor número y tamaño de células (Hewitt, 1963). La duración del área foliar también es más prolongada en las plantas abastecidas con N. Por lo tanto, es de esperarse que un cultivo con N intercepte una mayor cantidad de radiación, puesto que esto depende del área foliar, lo que probablemente se traducirá en una mayor producción de biomasa (Morales y Escalante, 2007).

El inicio del llenado de grano coincide con el de la senescencia foliar y la tasa de senescencia está altamente determinada por las condiciones ambientales y la actividad de la hoja está relacionada con la nutrición mineral. Algunos estudios han demostrado que el N retrasa la pérdida de clorofila y así se tiene una duración más prolongada de la actividad fotosintética. De esta manera, con la fertilización nitrogenada puede lograrse un retraso en la senescencia y en consecuencia una mayor duración del área foliar y producción de biomasa (Santos *et al.*, 2017). Para que el rendimiento del cultivo sea favorable necesita una adecuada disponibilidad de los elementos esenciales, sobre todo del nitrógeno, que es el elemento que las plantas necesitan en mayores proporciones (Xu *et al.*, 2012). La cantidad requerida va a estar en función del nivel inicial del elemento en el suelo, de las características físicas y químicas y del rendimiento esperado, principalmente (Puenayan *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2015). El más elevado

requerimiento de este nutriente es en las primeras fases de desarrollo del cultivo y previo al inicio de la fase reproductiva (Santos *et al.*, 2017).

En girasol, bajo condiciones óptimas de crecimiento, el incremento de biomasa y rendimiento puede estar determinado por la aplicación de N, principalmente. Además, la falta de agua en la etapa más crítica (floración) aumenta el número de aquenios vanos y afecta negativamente el peso de 1000 granos y el porcentaje de aceite.

Quiroga (1999) observó que con aplicación de N en 15 ensayos el rendimiento se relacionó positivamente con el diámetro de capítulos y el peso de 1000 granos. Por otra parte, los componentes del rendimiento se definen en diferentes estadios fenológicos y estos pueden ser modificados en función de las condiciones ambientales que se presentan a lo largo del ciclo del cultivo, afectan el rendimiento a través de distintos componentes (Escalante, 1999). Además, el efecto de un mismo factor ambiental puede afectar a un componente con diferente intensidad que a otros.

Dichos factores ambientales podrían incluso reducir el número de capítulos por unidad de superficie y ocasionar una reducción del rendimiento debido a un incremento del número de frutos por planta y/o del peso individual de los frutos (Escalante *et al.*, 2008).

Conocer el momento en que se definen los distintos componentes del rendimiento y el efecto de los factores ambientales sobre los mismos, puede ayudar a detectar el momento en que la planta necesita de la aplicación de N (Escalante *et al.*, 2008). Esto puede servir para adecuar el manejo del cultivo para minimizar las situaciones de estrés en dichos períodos. A través de la correcta aplicación del N, es posible adecuar la oferta de los factores ambientales que pueden limitar principalmente el rendimiento del cultivo (radiación solar, temperatura y agua) a los momentos de mayor demanda de los mismos (Escalante, 1999). Por lo cual, la fertilización de N en la fase

fenológica en la que lo necesita podría propiciar que se incremente el rendimiento producto del aumento en los componentes del rendimiento.

Sin embargo, aunque ya existen algunos estudios respecto a dosis de N que han funcionado muy bien en este cultivo del girasol, no existen aquellos que hayan probado dosis altas de N, Además, estos estudios pueden no ser validos en otra región de estudio, ya que la respuesta del cultivo puede atribuirse también a otros factores principalmente ambientales, así como las características físicas y químicas del suelo de siembra.

El cultivo de girasol para el valle de Apatzingán Michoacán es totalmente nuevo, pues se desconoce el grado de adaptación que pudiera tener el cultivo a las condiciones edafoclimáticas.

REVISION DE LITERATURA

Origen

El girasol (*Heliantus annus* L.), es un cultivo milenario de México cuya domesticación data desde la época precolombina, pues se han encontrado semillas fosilizadas de hace 4 mil años. Fue cultivado por las tribus indígenas de Nuevo México y Arizona.

El girasol era uno de los principales productos agrícolas empleados en la alimentación por muchas comunidades americanas antes del descubrimiento. Fue durante el siglo XIX cuando comenzó la explotación industrial de su aceite destinada a la alimentación (Bye *et al.*, 2009).

Producción mundial

Los principales países productores de girasol para el año 2018 fueron, en orden de importancia: Rusia (9,697,450 t), Ucrania (8,670,500 t), Argentina (3,671,750 t), India (2,350,000 t), China (1,020,000 t), Rumania (830,000 t) y EU (810,000 t). En conjunto, estos países sumaron el 72 % del total de la producción mundial de girasol, pero destaca Rusia, que aporta el 23 por ciento de la producción de esta oleaginosa a nivel mundial (FAOSTAT, 2018).

Producción nacional

La producción en México para este año fue de 2,826.48 t, el principal estado productor es Sonora, seguido de Zacatecas, Guanajuato y Jalisco (Cuadro 1; SIAP, 2018).

Cuadro 1. Producción nacional de girasol (*Heliantus annus* L.).

Entidad	Superficie			Producción	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Valor Producción (miles de Pesos MXN)
	(ha)					
	Sembrada	Cosechada	Siniestrada			
1 Baja						
California						
Sur	8	8	0	17.5	2.19	109.38
2 Guanajuato	616.5	616.5	0	1,520.16	2.47	10,046.60
3 Hidalgo	92	27	65	64.4	2.39	395.87
4 Jalisco	881	881	0	1,432.80	1.63	7,051.58
5 México	325	325	0	787.11	2.42	5,990.19
San Luis						
6 Potosí	780	780	0	624	0.8	4,555.20
7 Sinaloa	182.97	182.97	0	384.64	2.1	3,072.30
8 Sonora	1,357.93	1,357.93	0	2,543.08	1.87	18,828.74
9 Tamaulipas	90	90	0	16.2	0.18	95.98
10 Tlaxcala	66	66	0	123.1	1.87	738.6
11 Zacatecas	2,295.05	2,295.05	0	1,726.38	0.75	10,948.99
Total	6,694.45	6,629.45	65	9,239.37	1.39	61,833.42

SIAP, 2018

Importancia

El girasol es una planta oleaginosa fundamental en la alimentación humana y como planta forrajera. Es una de las plantas herbáceas de extracción de aceite para consumo humano más cultivadas en el mundo. Es un cultivo en expansión con un incremento medio anual bastante estable en los últimos años (Bye *et al.*, 2009).

Taxonomía y morfología

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Género: *Helianthus*
- Especie: *annuus* L.

Pertenciente a la familia *Asteraceae*, cuyo nombre científico es *Helianthus annuus*. Se trata de una planta anual, con un desarrollo vigoroso en todos sus órganos. Dentro de esta especie existen numerosos tipos o subespecies cultivadas como plantas ornamentales, oleaginosas y forrajeras (Godia, 2005).

A continuación, se describen las estructuras morfológicas que componen la planta:

Raíz

Está formada por una raíz pivotante y un sistema de raíces secundarias de las que nacen las terciarias que exploran el suelo en sentido horizontal y vertical.

Normalmente la longitud de la raíz principal sobrepasa la altura del tallo. La raíz profundiza poco, y cuando tropieza con obstáculos naturales desvía su trayectoria vertical y deja de explorar las capas profundas del suelo, llegando a perjudicar el desarrollo del cultivo y por tanto el rendimiento del mismo (Godia, 2005).

Tallo

Es de consistencia semileñosa y maciza en su interior, es cilíndrico y con un diámetro variable entre 2 y 6 cm., y una altura hasta el capítulo entre 0.4 m y 2 m.

La superficie exterior del tallo es rugosa, asurcada y vellosa; excepto en su base. En la madurez, el tallo se inclina en la parte terminal debido al peso del capítulo (Godia, 2005).

Hojas

Son alternas, grandes, trinervadas, largamente pecioladas, acuminadas, dentadas y de áspera vellosidad tanto en el haz como en el envés. Según las condiciones de cultivo y la variedad, el número de hojas por planta varía entre 12 y 40. El color también es variable y va de verde oscuro a verde amarillento (Godia, 2005).

Inflorescencia

El receptáculo floral o capítulo puede tener forma plana, cóncava o convexa. El capítulo es solitario y rotatorio y está rodeado por brácteas involucrales. El número de flores varía entre 700-3000 en variedades para aceite, hasta 6000 o más en variedades de consumo directo. La polinización es alógama, siendo la abeja melífera el principal insecto polinizador, cuya presencia repercute directamente en la fecundación y fructificación (Godia, 2005).

Fruto

Es un aquenio de tamaño comprendido entre 3 y 20 mm. de largo; y entre 2 y 13 mm. de ancho. El pericarpio es fibroso y duro, quedando pegado a la semilla. La membrana seminal crece con

el endospermo y forma una película fina que recubre al embrión y asegura la adherencia entre el pericarpio y la semilla (Godia, 2005).

Requerimientos edafoclimáticos

Suelo

Es un cultivo poco exigente en el tipo de suelo, aunque prefiere los arcillo-arenosos y ricos en materia orgánica, pero es esencial que el suelo tenga un buen drenaje y la capa freática se encuentre a poca profundidad. El girasol es muy poco tolerante a la salinidad, y el contenido de aceite disminuye cuando los niveles de sales aumentan en el suelo. En suelos neutros o alcalinos la producción de girasol no se ve afectada, ya que no aparecen problemas de tipo nutricional. Es una de las plantas con mayor capacidad para utilizar los residuos químicos aportados por las explotaciones anteriores, propiciando un mejor aprovechamiento del suelo, por lo tanto, la rentabilidad de las explotaciones agrícolas se ve incrementada (Avila *et al.*, 2007).

Temperatura

Es un factor muy importante en el desarrollo del girasol, adaptándose muy bien a un amplio margen de temperaturas que van desde 25-30 a 13-17 °C. Si la temperatura es muy alta durante la floración y llenado del grano, provoca una importante pérdida en la producción final, tanto en peso como en contenido graso. La temperatura óptima del suelo para la siembra varía entre 8 y 10 °C (Avila *et al.*, 2007).

Fotoperiodo y luz

Las diferencias en cuanto a la aparición de hojas, fecha de floración y a la duración de las fases de crecimiento y desarrollo son atribuidas al fotoperiodo. Durante la fase reproductiva el fotoperiodo deja de tener influencia y comienza a tener importancia la intensidad y la calidad de la luz, por tanto, un sombreado en plantas jóvenes produce un alargamiento del tallo y reduce la superficie foliar (Godia, 2005).

Humedad

Durante la época de crecimiento activo y sobre todo en el proceso de formación y llenado de las semillas, el girasol consume importantes cantidades de agua. El consumo de agua es máximo durante el periodo de formación del capítulo, ya que el girasol toma casi la mitad de la cantidad total de agua necesaria (Ávila *et al.*, 2007).

Manejo agronómico

Siembra

La época de siembra es variable y dependiente de las características climatológicas de cada región. Los sistemas de siembra de primavera y de invierno se caracterizan por aprovechar las posibilidades de temperatura y humedad que desarrolla el cultivo del girasol (Ávila *et al.*, 2007). La principal ventaja de la siembra invernal es el incremento de la producción, tanto de aquenios como de grasa; pero el riesgo de heladas y la competencia con las malas hierbas se incrementa. Aunque el valle de Apatzingán no cuenta con un invierno verdadero, siendo una ventaja para un mayor desarrollo en menor tiempo (Ávila *et al.*, 2007).

La profundidad de siembra se realiza en función de la temperatura, humedad y tipo de suelo. En zonas húmedas con primaveras cálidas, suelos pesados y húmedos, la profundidad de siembra es de 5 a 6 cm

En zonas con primaveras secas, suelos ligeros y poca humedad, la profundidad de siembra es de 7 a 9 cm. Si el terreno es ligero y mullido la profundidad de siembra es mayor, al contrario que ocurre si el suelo es pesado. El adelanto de la siembra reduce el volumen total de agua percolada al incrementarse el periodo de coincidencia de lluvia con el cultivo ya establecido. La época de siembra influye directamente en el contenido en aceite de los aquenios, siendo este superior si las siembras son tempranas (Ávila *et al.*, 2007).

Densidad de plantación

La densidad de plantación depende de las precipitaciones, la fertilidad, de las variedades cultivadas y de la distancia entre surcos. En zonas áridas es conveniente aumentar la distancia entre surcos (80-100 cm) para garantizar el agua disponible durante los periodos de floración y maduración siendo la población de 45,000 a 50,000 plantas ha⁻¹ (Ávila *et al.*, 2007).

Riego

Se trata de una planta que aprovecha el agua de forma mucho más eficiente en condiciones de escasez. Su sistema radical extrae el agua del suelo a una profundidad a la que otras especies no pueden acceder. El girasol adapta muy bien su superficie foliar a la disponibilidad de agua en el medio. Es un cultivo de secano, pero responde muy bien al riego incrementando el rendimiento final (Ávila *et al.*, 2007).

Fertilización

Debido a la elevada capacidad del sistema radical del girasol para extraer nutrientes, este no es muy exigente en cuanto ha abonado. Las dosis de abono se ajustarán en función de los elementos nutritivos del suelo y del régimen de precipitaciones y de riegos. La absorción de nutrientes se concentra en las primeras fases de desarrollo de la planta. Es un cultivo muy sensible a la toxicidad por aluminio, dificultando su desarrollo radical y como consecuencia en la parte aérea aparecen síntomas de estrés hídrico o carencia de otros nutrientes como fósforo o magnesio (Avila *et al.*, 2007).

Plagas y enfermedades

Gusanos grises (*Agrotis segetum*, *Agrotis exclamationis* y *Agrotis ypsilon*)

Las larvas atacan al girasol desde la germinación de las semillas hasta que las plantas tienen unos 15 cm de altura. Producen daños en la raíz y en la base del tallo, pudiendo llegar a cortar la planta, éstas se marchitan y el crecimiento se detiene (Melero y Alonso, 1988).

Mildiu del girasol (*Plasmopara helianthi*)

En condiciones de humedad relativa elevada (90-100%) y temperatura entre 12 y 22 °C, en la superficie de la planta se producen los órganos reproductores del hongo, que se esparcen llevando la infección a través del aire y del suelo a otras plantas. Los síntomas se manifiestan por un enanismo en el girasol, las hojas se tornan de un verde pálido desde la base hasta el ápice de las hojas (Melero y Alonso, 1988).

Podredumbre carbonosa de raíz y tallo (*Macrophomina phaseolina*)

Es un hongo polífago y termófilo, para su desarrollo es necesario que el girasol padezca estrés hídrico. Generalmente son las plantas adultas y en estado de maduración las que resultan

atacadas, produciéndoles la muerte prematura y el ennegrecimiento de sus órganos (Melero y Alonso, 1988).

Requerimiento de nitrógeno

En etapas vegetativas el nitrógeno (N) que los cultivos toman del suelo es utilizado para generar y mantener estructuras vegetales, como el área foliar, que intercepta la radiación solar. En la etapa reproductiva, continúa la absorción de N del suelo y se removiliza parte de N de las estructuras vegetales para formar los lípidos y proteínas de los granos. Si bien el rendimiento depende de muchas variables, el N es uno de los nutrientes que más lo determina. Una tonelada de granos de girasol se compone de 26 a 30 kilogramos de nitrógeno (Bono y Romano, 2008). También la temperatura del suelo, longitud y tipo de barbecho, cantidad y tipo de rastrojos, y cultivo antecesor determinan diferentes disponibilidades.

El girasol toma N junto con el agua que se encuentra en la solución del suelo. En ocasiones de bajo contenido hídrico superficial, la cantidad de N absorbida por la planta puede disminuir y afectar la nutrición (Bono y Romano, 2008).

Por otra parte, el nitrógeno es el nutrimento que la planta necesita en mayores cantidades. El déficit de nitrógeno es una de las causas del descenso de los rendimientos en el cultivo del girasol. Es un elemento necesario para el crecimiento, diferenciación y desarrollo de sus órganos (Escalante, 1999). Una dosis de 80-100 kg ha⁻¹ contribuye a aumentar la producción en un 15-20%.

El síntoma de su deficiencia es una clorosis general en cualquier fase de su desarrollo, afectando de igual modo a hojas tanto jóvenes como viejas. El exceso de nitrógeno reduce de forma sustancial el aceite de la semilla, pero incrementa el contenido en proteínas (Bono *et al.*, 2008).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el estado de Michoacán y particularmente en el valle de Apatzingán el monocultivo es una de las prácticas agrícolas más, se siembran grandes extensiones de terreno de un solo cultivo principalmente de frutales y hortalizas y debido al mal manejo se han generado problemas fitosanitarios, resistencias a plagas y enfermedades; consecuencia del abuso de agroquímicos y falta de rotación de cultivos, lo que genera mayores costos de producción, incluso hasta pérdidas, lo que se refleja en la disminución de la utilidad del productor pues al no rotar el cultivo tienden aparecer nuevas enfermedades; causando mayor inversión en los cultivos, que a su vez generan menos ganancia.

Por otra parte, en años pasados ha sucedido que la zona era potencial en la producción de algodón y melón que empezaron a tener graves problemas de plagas y enfermedades, dichos cultivos tuvieron que ser reemplazados por los frutales que ahora se producen.

Por lo antes expuesto se hace necesario buscar cultivos alternativos que se adapten a las condiciones del valle y que además sean atractivos al productor por el potencial productivo que representan. Entre estos, el girasol aceitero es uno de los que se tiene evidencia de adaptación a diferentes condiciones.

JUSTIFICACIÓN

En la región del valle de Apatzingán el girasol es un cultivo sin explotar, debido a que es un cultivo de reciente introducción por lo tanto no existen recomendaciones sobre fertilización para este cultivo en la región. Además de que el productor no conoce los beneficios del cultivo por ende no existe un paquete tecnológico diseñado para la región, sin embargo, representa un producto viable, tolerante a altas y bajas temperaturas, la utilización de menos agua y su alta demanda en la industria nacional. Características que lo hacen un cultivo alternativo para el valle de Apatzingán.

El girasol en la región del valle de Apatzingán por ser un cultivo nuevo no cuenta con recomendaciones de fertilización adecuada, por lo cual el siguiente trabajo se realizó con el fin de encontrar la dosis de fertilización nitrogenada (fraccionada) adecuada que genere el más alto rendimiento.

OBJETIVOS E HIPOTESIS

Objetivos

Evaluar si la aplicación de nitrógeno modifica las fases fenológicas del cultivo de girasol.

Determinar la dosis de fertilización nitrogenada (fraccionada al 50%) en Girasol (*Helianthus annuus* L.) para el valle de Apatzingán que genere la mayor altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar de la planta, diámetro del capítulo, el rendimiento y acumulación de biomasa total.

Hipótesis

La fertilización nitrogenada en el cultivo de girasol genera mayor rendimiento de grano, producto del incremento en altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar de la planta, diámetro del capítulo y biomasa total en la zona del valle de Apatzingán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

El trabajo se desarrolló en el campo experimental en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en Apatzingán de la Constitución en el estado de Michoacán de Ocampo, en las coordenadas 19° 05' 00" de LN y 102° 22' 17" de LO y 314 m de altitud (Figura 1).

El clima de la región es BS₁, considerado como semiseco cálido con lluvias en verano, con temperaturas máximas de 40 °C y mínimas de 20 °C y precipitación anual de 750 mm (García, 2005).

El municipio de Apatzingán de la Constitución limita al norte con el pico de Tancítaro, al este con Parácuaro y Múgica, al sur con Tumbiscatío y al oeste con Aguililla y Buenavista. Posee una superficie de 1,656.67 km² y representa el 2.81% de la superficie del Estado. Su distancia a la capital del Estado es de 200 km.



Figura 1. Ubicación del sitio experimental.

Descripción del genotipo de girasol

Se utilizó semilla cultivar “Victoria”, que es una variedad aceitera.

Preparación del terreno

La preparación del suelo consistió en un barbecho a 30 cm de profundidad, con un paso de rastra para eliminar terrones, hasta dejar una textura acolchonada polvosa. Se surcó a 80 cm de ancho con una altura de 30 cm aproximadamente. En el cultivo se estableció un sistema de riego por goteo.

Previo a la siembra se preparó la semilla con fungicida para evitar la pudrición de la misma, así como disminuir la posibilidad de ser consumidas por la plaga que representa el Cuinique (*Notocitellus adocetus*).

Previo a la siembra se efectuó un análisis físico-químico del suelo para conocer el nivel inicial de fertilidad, el cual muestra que es de textura franco-arcillosa, densidad aparente de 1.11 g cm⁻³, pH 7.78 (alcalino), capacidad de intercambio catiónico de 56 cmol kg⁻¹, bajo en N-inorgánico (10.3 mg kg⁻¹), materia orgánica media (3.22%) y medio en contenido de P (16.8 mg kg⁻¹ de P).

Siembra

Al momento de la siembra se colocaron dos semillas por golpe (mata) a un costado del surco para facilitar el aporcado.

Control de malezas y plagas

Se mantuvo limpio de malezas, ya que periódicamente se realizó la eliminación manual de plantas indeseables. Se realizó una aplicación para el control de plagas y enfermedades.

Riegos

El riego se realizó con un sistema de riego por goteo, después de la siembra se aplicó el riego cada tres días una hora por las mañanas. Conforme avanzaba el ciclo del cultivo y aumentaban los requerimientos hídricos, también se prolongó el tiempo de riego a dos horas en las mañanas cada tercer día. Considerando las altas temperaturas del valle de Apatzingán los riegos se mantuvieron de esta forma hasta que concluyó el ciclo del cultivo del girasol.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la aplicación fraccionada de nitrógeno a las dosis de 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ más un testigo absoluto sin aplicación (Cuadro 1). La primera aplicación se realizó a los 20 días después de la emergencia, siguiendo la segunda parte a los 40 días de emergencia. Como fuente de N se utilizó urea (46% de N).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Por lo cual se tuvieron 20 unidades experimentales, cada una de ellas con una superficie de 2.4 m². Por otra parte, la parcela útil fueron las plantas del surco central de cada unidad experimental. En estas plantas se registraron las variables de respuesta (Figura 2).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el cultivo de girasol en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamientos	kg de N ha ⁻¹
T1	0
T2	50
T3	100
T4	150
T5	200

T= Tratamiento.

			1.6m L X 2.5 m A
T2 R4	T1 R4	T3 R4	T4 R4
Calle →			
T5 R4	T3R3	T4 R3	T1 R3
calle →			
T5 R3	T2R3	T5 R2	T3 R2
calle →			
T2 R2	T4 R2	T1 R2	T4 R1
calle →			
T2 R1	T5 R1	T1 R1	T3 R1

Figura 2. Distribución de los tratamientos en campo. Apatzingán, 2019.

Condiciones ambientales

Durante el ciclo del cultivo se registró la temperatura máxima (T_{max} , °C) y mínima ($T_{mín.}$, °C) diaria y la precipitación pluvial acumulada (mm), los datos fueron obtenidos de la estación agrometeorológica de CONAGUA ubicada en Tepalcatepec, Michoacán.

Variables de respuesta

Tiempo a ocurrencia de fases fenológicas

También se registraron las fases fenológicas de las plantas en cada uno de los tratamientos evaluados. Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), a inicio de antesis (R5) y a madurez fisiológica (MF) de acuerdo a los criterios presentados en Schneiter y Miller (1981).

Variables morfológicas

Durante el desarrollo fenológico del cultivo las variables que se midieron fueron: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), número de hojas y área foliar (cm²). Esta última variable se estimó con midiendo el largo x ancho x factor de corrección (0.75) de cada hoja.

A la cosecha se registró el rendimiento de grano y los componentes del rendimiento, como diámetro del capítulo (DC), rendimiento de grano, número de semillas en los tres estratos del capítulo, biomasa total (suma del peso de receptáculo + peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de granos).

Las variables se analizaron estadísticamente con el paquete SAS versión 9.1 y a las diferencias entre tratamientos se le aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad del error (SAS, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo, la temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$) y máxima ($T_{\text{máx}}$) promedio fue de 17 y 36 °C, respectivamente. Las temperaturas más altas ocurrieron en la etapa vegetativa, después disminuyeron hasta el final del ciclo de cultivo.

La precipitación acumulada fue de 620 mm; el 55 % (341 mm) se presentó desde la siembra a inicio de floración y el 45 % (279 mm) en la etapa reproductiva hasta final de ciclo.

En relación a la aparición de las etapas fenológicas, estas no se modificaron a causa de la dosis de N. Así, la emergencia ocurrió a los 5 días después de la siembra (dds), la aparición del capítulo (R1) a los 50 dds, la floración (R4) a los 70 dds y la madurez fisiológica a los 109 dds (Cuadro 3).

Estos resultados son similares a los registrados por Escalante (1999) quien bajo condiciones de Sevilla, España encontró que la aplicación de N no modificó el tiempo a ocurrencia de fases fenológicas en los híbridos de girasol aceitero AB-E353 y Sungro 380, al igual que Olalde *et al.* (2000) bajo condiciones de clima cálido en Cocula Guerrero en el cultivar Victoria. Así mismo, en el cultivos de frijol chino tampoco se encontró modificación en el tiempo a ocurrencia en fases fenológicas a causa de la aplicación de N, sin embargo, dicho efecto contrasta con lo señalado por Abayomi *et al.* (2008) quienes indican que la aplicación de fertilización reduce el tiempo a ocurrencia de la floración.

Similar tiempo a ocurrencia de fases fenológicas registraron Olalde *et al.* (2000) y Escalante *et al.* (2008), ambos en el mismo tipo de clima; mientras que Aguilar *et al.* (2005), en el cultivar Victoria pero bajo condiciones de Montecillo, Texcoco Edo. de México registraron una prolongación en la aparición de las fases fenológicas en comparación de las observadas en nuestro estudio, ya que la emergencia se presentó a los 12 dds, la aparición del capítulo (R1) a

los 56 dds, la floración (R5) a los 84 dds y la madurez fisiológica a los 117 dds. Estas diferencias se atribuyen a que las temperaturas en Apatzingán son más elevadas.

Cuadro 3. Aparición de las fases fenológicas en el cultivo de girasol en función de la dosis de fertilización nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Fase fenológica	Días después de la siembra
VE	5
V2	10
V10	38
R1	50
R2	57
R3	67
R4	70
R5	80
R6	90
R7	100
R8	105
R9	109

VE: El hipocótilo y los cotiledones han emergido sobre la superficie del suelo.

V2: dos hojas verdaderas.

V10: diez hojas verdaderas.

R1: La inflorescencia rodeada de brácteas inmaduras es visible.

R2: El entrenudo debajo de la base de la inflorescencia se elonga desde 0.5 a 2 cm por encima de la última hoja verdadera en el tallo.

R3: El entrenudo debajo del órgano reproductivo continua su crecimiento llevando la inflorescencia a más de 2 cm de la última hoja.

R4: La inflorescencia comienza a abrirse. Las flores liguladas comienzan a verse.

R5: En esta etapa se produce la antesis de las flores tubuladas. Las flores liguladas están completamente desarrolladas y expandidas y todos los discos de flores tubuladas son visibles.

R6: La antesis es completa y las flores liguladas perdieron turgencia y se están marchitando.

R7: El receptáculo comienza a cambiar de color, se vuelve amarillo claro.

R8: El receptáculo está completamente amarillo pero las brácteas continúan verdes.

R9: Las brácteas cambian a un color marrón. La mayor parte del receptáculo se torna marrón, esta etapa está asociada a la madurez fisiológica del cultivo.

Schneiter y Miller, 1981.

Altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas

En total se realizaron seis tomas de datos cada ocho días a partir de los 20 días después de la siembra para evaluar las variables de altura, diámetro del tallo y número de hojas. En el Cuadro 4 se presentan los datos de la primera lectura. Se encontró que la altura de la planta y diámetro del tallo mostraron diferencias estadísticas significativas a causa de los tratamientos estudiados. Por otro lado, la variable que no presentó diferencias estadísticas significativas fue el número de hojas por planta.

Para la variable altura de la planta, la dosis de 200 kg de N ha⁻¹ generó las plantas más altas, con incrementos de 12% respecto a las plantas del testigo sin aplicación. En relación al diámetro del tallo, el suministro de 150 y 200 kg de N ha⁻¹ lograron los valores mayores que estadísticamente fueron similares. Valores intermedios se registraron con la aplicación de 50 y 100 kg de N ha⁻¹.

Para la variable número de hojas no se registraron modificaciones estadísticas significativas por efecto de tratamientos por lo que en promedio el número de hojas fue de 5.55.

Cuadro 4. Altura de la planta (AP), Diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la primera lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamiento (Kg de N ha ⁻¹)	AP (cm)	DT (cm)	NH
T1(0)	¶19.54 c ± 1.34	0.59 c ± 0.04	4.83 a ± 0.09
T2 (50)	20.12 c ± 1.78	0.60 b ± 0.02	5.33 a ± 0.54
T3 (100)	20.70 b ± 1.74	0.67 b ± 0.08	5.66 a ± 0.38
T4 (150)	20.54 b ± 0.92	0.78 a ± 0.07	5.91 a ± 0.41
T5 (200)	21.87 a ± 2.01	0.85 a ± 0.05	6.00 a ± 0.33
Media general	20.16	0.70	5.55
DMSH _{0.05}	3.72	0.08	0.88
CV %	8.19	9.47	7.10

¶En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$), DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad. *, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 respectivamente.

En el Cuadro 5 se presentan las variables altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas para la segunda fecha de toma de datos. En esta lectura, las variables que presentaron diferencias significativas a causa de los tratamientos fueron: la altura de la planta y el número de hojas; mientras que el diámetro del tallo no tuvo efecto significativo por la aplicación del N y en promedio fue de 0.97 cm.

Así, tal como sucedió en la primera toma de datos, el valor de la altura fue más alto con la aplicación de 200 kg de N ha⁻¹ y el incremento en relación al tratamiento testigo fue de 23%,

por otra parte, para la variable número de hojas, este fue mayor con los tratamientos 4 y 5, los cuales resultaron estadísticamente similares, según la prueba de comparación de medias de tukey con incremento de 21% en relación al tratamiento sin aplicación de N.

Cuadro 5. Altura de la planta (AP), Diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la segunda lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamiento (kg de N ha ⁻¹)	AP (cm)	DT (cm)	NH
T1(0)	32.58 d ± 4.15	0.84 a ± 0.12	9.00 b ± 1.05
T2 (50)	34.50 c ± 3.53	0.87 a ± 0.05	9.91 ab ± 0.91
T3 (100)	34.50 c ± 3.21	1.00 a ± 0.14	10.75 ab ± 0.83
T4 (150)	36.37 b ± 4.01	1.05 a ± 0.20	10.89 a ± 0.83
T5 (200)	39.95 a ± 2.51	1.10 a ± 0.04	10.91 a ± 0.50
Media general	35.58	0.97	10.30
DMSH _{0.05}	1.80	0.26	1.76
CV %	8.41	12.23	7.58

¶En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$), DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad. *, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 respectivamente.

Para el caso de la toma de datos número tres los resultados obtenidos fueron los siguientes: las variables altura, diámetro del tallo y número de hojas presentaron diferencias significativas por efecto de tratamientos. La altura de la planta tuvo los valores más altos para el tratamiento 4 y

5, los cuales son estadísticamente similares, con incrementos respecto al tratamiento sin aplicación de N del 34 y 45%, respectivamente. El aumento en el diámetro del tallo de las plantas con la dosis más alta de fertilización fue 57% en comparación con las plantas del tratamiento testigo. Para el caso de número de hojas este valor también fue mayor con el suministro de 200 kg ha⁻¹ de N, el cual incrementó en un 45% esta variable en relación al tratamiento testigo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la tercera lectura en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamiento (kg de N ha ⁻¹)	AP (cm)	DT (cm)	NH
T1(0)	55.20 b ± 3.14	1.09 c ± 0,24	11.16 c ± 1.45
T2 (50)	59.62 b ± 4.33	1.20 bc ± 0.07	13.83 b ± 0.63
T3 (100)	67.75 ab ± 3.86	1.55 ab ± 0.28	14.66 ab ± 0.72
T4 (150)	74.20 a ± 8.47	1.48 abc ± 0.26	15.33 ab ± 1.05
T5 (200)	80.29 a ± 6.10	1.72 a ± 0.02	16.25 a ± 1.37
Media general	67.41	1.41	14.25
DMSH _{0.05}	14.15	0.42	2.14
CV %	9.31	13.35	6.66

¶En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$), DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad. *, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 respectivamente.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de la cuarta lectura de datos, donde la tendencia es similar a la toma de datos anterior. Las tres variables presentaron diferencias estadísticas significativas por efecto de tratamientos. Los valores más elevados se presentaron con la aplicación de las dosis altas de nitrógeno, es decir, 150 y 200 kg ha⁻¹ respectivamente. Así, la planta con 200 kg de N ha⁻¹ presentaron 48 cm más en altura de la planta con relación a las plantas sin aplicación de N. Resultados similares fueron registrados para la variable diámetro del tallo y número de hojas.

Cuadro 7. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT) y número de hojas (NH) para la cuarta lectura en función de la fertilización nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamiento (kg de N ha ⁻¹)	AP (cm)	DT (cm)	NH
T1(0)	[¶] 95.00 d ± 12.48	1.36 b ± 0.35	16.00 b ± 2.53
T2 (50)	113.95 c ± 18.35	1.70 ab ± 0.35	18.50 ab ± 1.13
T3 (100)	131.29 b ± 14.03	1.96 ab ± 0.34	19.41 ab ± 2.61
T4 (150)	131.08 b ± 17.90	2.12 a ± 0.36	19.75 ab ± 0.50
T5 (200)	143.45 a ± 3.75	2.18 a ± 0.11	19.83 a ± 0.57
Media general	122.95	1.87	18.70
DMSH _{0.05}	11.35	0.73	3.78
CV %	11.07	17.41	8.97

[¶]En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$), DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad. *, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 respectivamente.

En el Cuadro 8 se presentan los datos analizados en la quinta toma de datos, donde las variables que presentaron diferencias por efecto de tratamientos sólo fueron la altura de la planta y el diámetro de tallo. En este sentido, las plantas que mostraron la mayor altura y diámetro del tallo fueron las fertilizadas con las dosis 150 y 200 kg ha⁻¹ de N. Por otra parte, la variable número de hojas estadísticamente fue similar en las plantas con cualquiera de los tratamientos evaluados.

Cuadro 8. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la quinta lectura en función de la fertilización nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamiento (kg de N ha ⁻¹)	AP (cm)	DT (cm)	NH
T1(0)	[¶] 132.75 c ± 19.55	1.57 b ± 0.39	18.83 a ± 2.20
T2 (50)	146.92 bc ± 9.91	1.60 b ± 0.10	20.08 a ± 4.07
T3 (100)	172.92 ab ± 16.53	2.02 ab ± 0.28	20.08 a ± 0.31
T4 (150)	181.83 a ± 18.22	2.23 a ± 0.26	21.50 a ± 1.97
T5 (200)	188.75 a ± 2.47	2.25 a ± 0.08	22.41 a ± 0.83
Media general	164.63	1.93	20.58
DMSH _{0.05}	33.95	0.56	5.38
CV %	9.15	12.93	11.60

[¶]En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$), DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad. *, ** = P ≤ 0.01 y 0.05 respectivamente.

Para la última lectura de datos se encontró que la única variable que se modificó estadísticamente a causa de los tratamientos fue el diámetro del tallo, en donde la aplicación de 150 y 200 kg ha⁻¹ de N generaron los valores mayores, que representaron incrementos de 40 y 39%, respectivamente con relación a las plantas del tratamiento testigo. La altura de la planta y el número de hojas fue estadísticamente similar en las plantas con cualquiera de los tratamientos aplicados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) para la sexta lectura en función de la fertilización nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Tratamiento (Kg de N ha ⁻¹)	AP (cm)	DT (cm)	NH
T1(0)	149.58 a ± 17.29	1.65 b ± 0.39	20.75 a ± 2.89
T2 (50)	159.75 a ± 13.03	1.65 b ± 0.10	21.83 a ± 1.23
T3 (100)	181.33 a ± 18.73	2.12 ab ± 0.33	22.50 a ± 2.18
T4 (150)	185.23 a ± 36.57	2.31 a ± 0.26	22.75 a ± 1.10
T5 (200)	189.58 a ± 15.18	2.29 a ± 0.11	22.91 a ± 1.22
Media general	173.09	2.01	22.15
DMSH _{0.05}	47.85	0.60	3.71
CV %	12.26	13.36	7.44

†En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$), DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad. *.** = P ≤ 0.01 y 0.05 respectivamente.

Los resultados del presente estudio son similares a los encontrados por Torres-Bazurto *et al.* (2019) quienes en banano encontraron que la aplicación de N mejoró variables morfológicas, lo cual es de gran importancia porque estas variables se relacionan con el rendimiento agronómico.

Existen reportes de trabajos relacionados con girasol en diferentes condiciones climáticas. Así, Escalante *et al.* (2008) para la variable altura de la planta, encontraron que con la aplicación de 120 kg de N ha⁻¹ el girasol presentó una altura de 102.3 cm, mientras que en la presente investigación se obtuvieron plantas más altas, lo cual puede atribuirse a que las condiciones ambientales pudieron ser más apropiadas para el cultivo en la presente investigación.

Los mismos autores, Escalante *et al.* (2008) reportan un diámetro del tallo de 1.18 cm, donde se utilizó una dosis de fertilización nitrogenada de 120 kg de N ha⁻¹, dicho valor es menor que el registrado en cualquiera de las dosis evaluadas en la presente investigación.

Área foliar

El área foliar del girasol se modificó por la aplicación de los tratamientos aplicados. Donde, el área foliar mayor se obtuvo con la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N, seguido de las dosis de 100 y 150 kg ha⁻¹ de N, que generaron valores estadísticamente similares en las plantas, mientras que los más bajos valores fueron ocasionados por las dosis de 50 kg ha⁻¹ y el testigo sin aplicación.

Dicho efecto fue similar a lo reportado en banano por Torres-Bazurto *et al.* (2019). Así mismo, Escalante, (1999) en girasol bajo condiciones de humedad residual, reporta un incremento en la magnitud del área foliar debido a una mayor expansión de las hojas y una mayor duración de la misma, debido en parte a una menor tasa de senescencia a causa del N.

En el cultivo de frijol chino la aplicación de N, también incrementó el tamaño de la maquinaria fotosintética medido como índice de área foliar lo que se relacionó con una mayor producción de hojas (Apáez *et al.*, 2014).

Cabe destacar que un mayor tamaño del área foliar generado por la aplicación de N puede favorecer la producción de materia seca y rendimiento agronómico debido al incremento en la interceptación de radiación solar (Aguilar *et al.*, 2005).

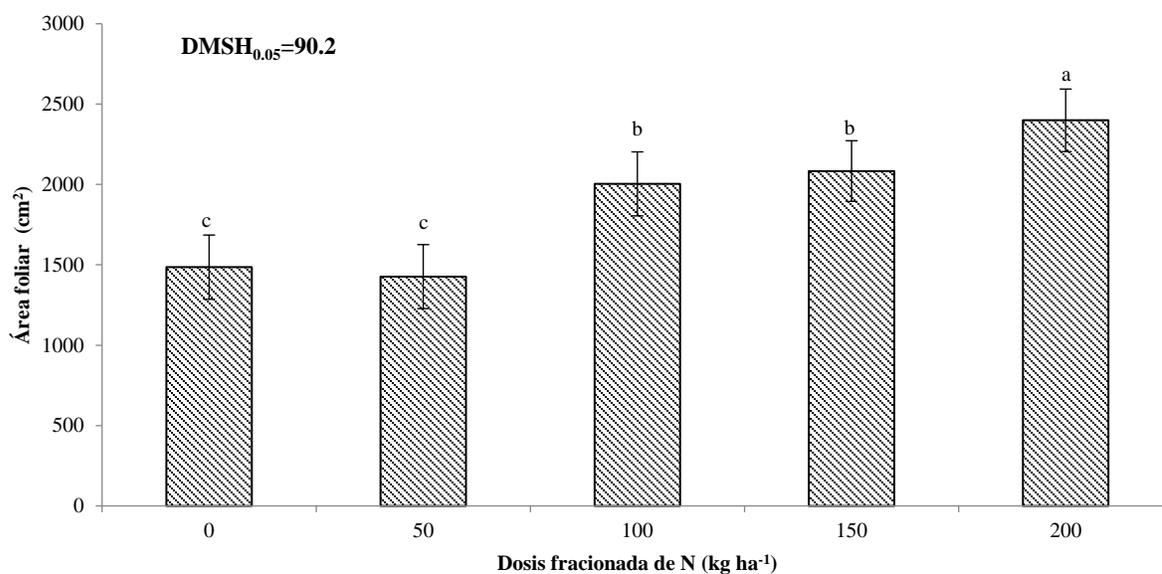


Figura 3. Área foliar en función de la fertilización de nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Diámetro del capítulo

En la Figura 4 que presenta el diámetro del capítulo de girasol, se observan diferencias estadísticas significativas por efecto de los tratamientos. Los capítulos con los mayores

diámetros se cosecharon en las plantas con suministro de 150 y 200 kg de N ha⁻¹, los cuales fueron estadísticamente similares. Valores intermedios se registraron en los capítulos de las plantas con 100 kg de N ha⁻¹. Finalmente, las plantas con 50 kg ha⁻¹ de N presentaron estadísticamente similar diámetro de capítulos que las plantas sin fertilización nitrogenada.

El grano o aquenio es el órgano de interés agronómico más importante del girasol, por esta razón se busca la expansión del capítulo que contiene las semillas, ya que repercutirá directamente en el rendimiento agronómico.

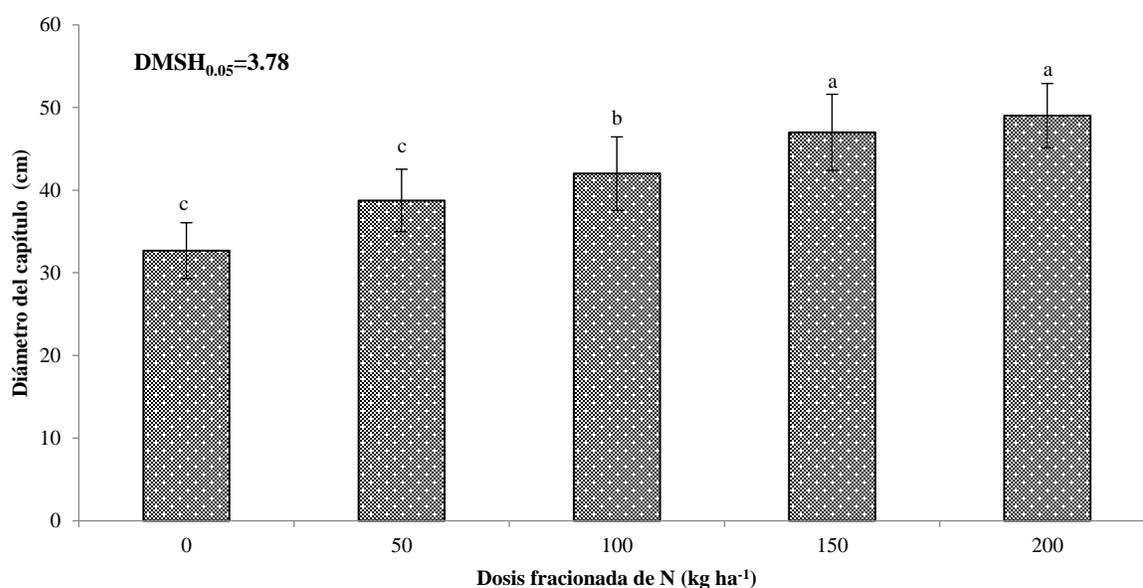


Figura 4. Diámetro del capítulo en función de la fertilización fraccionada de nitrógeno.

Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Número de semillas en cada estrato del capítulo

En la Figura 5 se presenta el número de semillas que se acumularon en cada estrato del capítulo, esta variable no presentó diferencias significativas por efecto de tratamientos. Sin embargo, numéricamente la mayor cantidad de semillas las presentaron los capítulos de las plantas con aplicación de 200 kg ha⁻¹ de N y el más bajo con el tratamiento testigo. De manera general, la mayor cantidad de semillas se acumuló en el estrato exterior, seguido del estrato medio y finalmente el estrato interior con 43, 34 y 22% respectivamente.

El rendimiento del girasol (peso de frutos por unidad de superficie) puede ser dividido en diferentes componentes. Entre estos componentes está el número de frutos llenos por capítulo y el peso individual de esos frutos que depende principalmente del número de flores producidas que son fecundadas y del número de flores fecundadas que cuajan y producen frutos, es decir, que no abortan logrado por la fertilización nitrogenada (Aguirrezábal *et al.*, 1998).

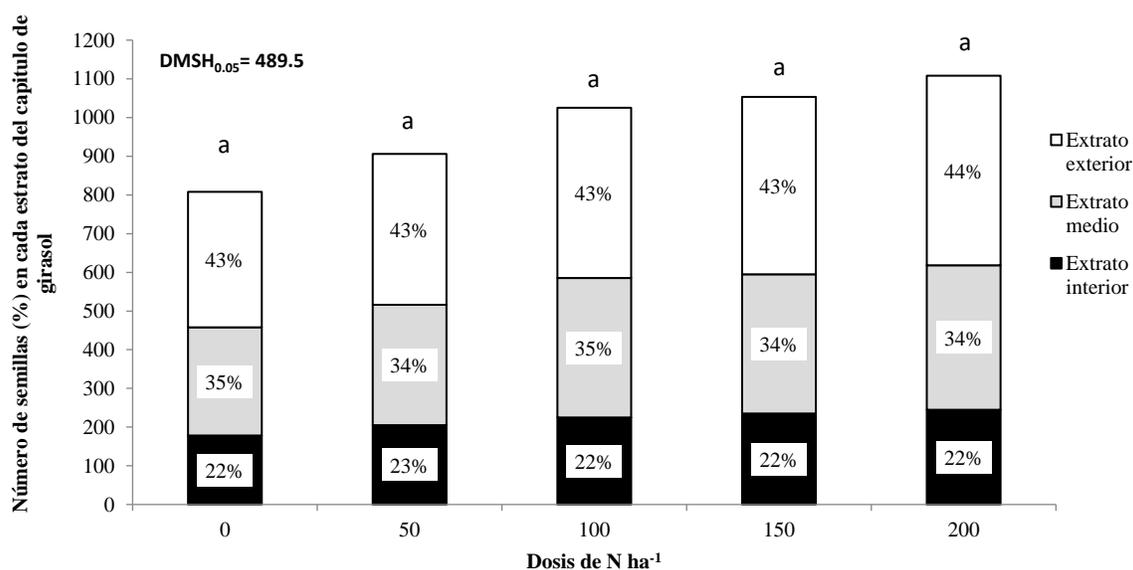


Figura 5. Número y porcentaje de semillas en cada estrato del capítulo del girasol en función de la fertilización nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

Rendimiento de grano

Con relación al rendimiento de grano, este se modificó significativamente por efecto de aplicación de los tratamientos. Las plantas que presentaron los rendimientos de grano más altos fueron las fertilizadas con 150 y 200 kg ha⁻¹ de N, con 3.2 y 2.9 t ha⁻¹, respectivamente; ambos rendimientos fueron estadísticamente similares. Seguidas de las plantas con 50 y 100 kg ha⁻¹ de N, con rendimientos de 1.8 y 2.0 t ha⁻¹, respectivamente. A partir de 50 kg ha⁻¹ de N se logró incrementar de manera significativa el rendimiento de grano en el cultivo de girasol (Figura 6).

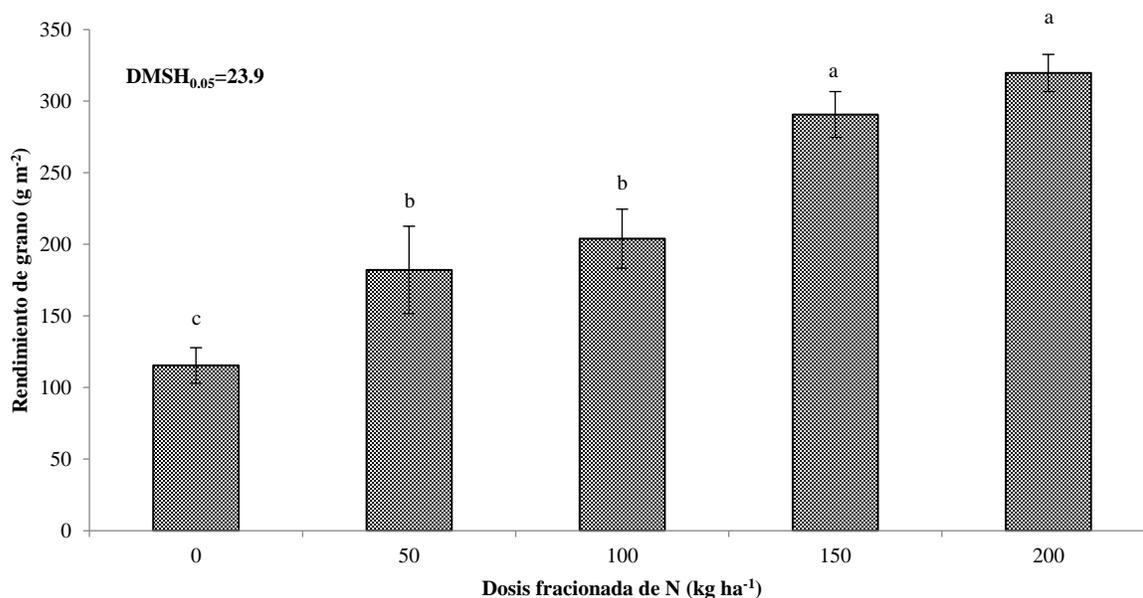


Figura 6. Rendimiento de grano función de la fertilización nitrogenada. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

El incremento en el rendimiento de grano con aumento en la dosis de N se ha observado en varios cultivos, sin embargo, la dosis más apropiada varía de acuerdo a las características físicas y químicas del suelo, de las condiciones climáticas, del cultivo y del genotipo (Apáez *et al.*, 2013; Kemalettin 2018), es por ello importante hacer estudios para determinar la cantidad de fertilización más apropiada para condiciones particulares. En el presente estudio en un suelo con pH de 7.78 y un nivel inicial de N-inorgánico de 10.3 mg kg⁻¹, a partir de 150 kg ha⁻¹ de N aplicado como urea con el que se logró estadísticamente el mayor rendimiento de grano, estos resultados son similares a los encontrados por Kemalettin (2018) en los genotipos de girasol aceitero Tarsan, LG5400 y Imeria cultivados en un suelo con pH de 7.8 encontraron que el más alto rendimiento se logró con 90 kg ha⁻¹ de N aplicado como sulfato de amonio fosfato diamónico con rendimientos de grano promedio de 2.95, 2.83 y 2.98 t ha⁻¹ para Tarsan, LG5400 y Imeria, respectivamente que son similares a los encontrados en el presente estudio.

Biomasa total y distribución a los órganos de la planta

En la Figura 7 se presenta la producción de biomasa total y su distribución en los órganos de la planta. Se encontró que la producción de biomasa mostró cambios estadísticos significativos por efecto de tratamientos. La mayor producción fue generada por las plantas con suministro de 150 y 200 kg ha⁻¹ de N, que produjeron estadísticamente similar cantidad de biomasa total. Seguido de las plantas con 50 y 100 kg ha⁻¹, La menor producción de materia seca se registró en las plantas sin fertilización nitrogenada. Cabe destacar que con 150 y 200 kg ha⁻¹ de N la

producción de biomasa se incrementó en 126 y 147%, respectivamente en comparación con las plantas sin fertilización nitrogenada.

Por otra parte, en relación con la distribución de materia seca en los órganos de la planta, tenemos que con la aplicación de 150 y 200 kg ha⁻¹ de N la acumulación en el grano fue de 30%, porcentaje que es superior al registrado con los otros tratamientos; efecto que contribuyó en la mejora del rendimiento de grano en las plantas con las dosis más elevadas de fertilización nitrogenada. Además, la acumulación de biomasa en el tallo fue menor con los tratamientos donde se aplicó N, mientras que en las hojas se presentó un ligero incremento en el porcentaje de materia seca lo que pudo favorecer la actividad fotosintética el rendimiento agronómico. Este efecto concuerda con lo señalado por Fageria y Baligar (2005), quienes relacionan al N con el incremento en el índice de cosecha de los cultivos agrícolas, es decir con el aumento en el porcentaje de la materia seca en grano.

Con relación al incremento en biomasa total con aplicación de N, este efecto también fue registrado por Escalante (1999) en los genotipos de girasol AB-E353 y Sungro, este investigador atribuye dicho efecto a que el N favoreció la tasa de crecimiento del cultivo. La biomasa máxima se encontró fue de 1523 g m⁻², que es superior a la biomasa total máxima que se encontró en la presente investigación; diferencias que pueden ser atribuidas a los distintos genotipos utilizados en ambas investigaciones y las condiciones ambientales contrastantes.

En el presente estudio, el mayor aumento en la producción de biomasa total con la aplicación de 150 y 200 kg ka⁻¹ de N puede atribuirse a que con estas dosis se favoreció más el tamaño del dosel vegetal, medido como área foliar, tal como lo indica Escalante *et al.* (2008) en otros genotipos de girasol y en el cultivo de maíz Muchow y Davis (1988).

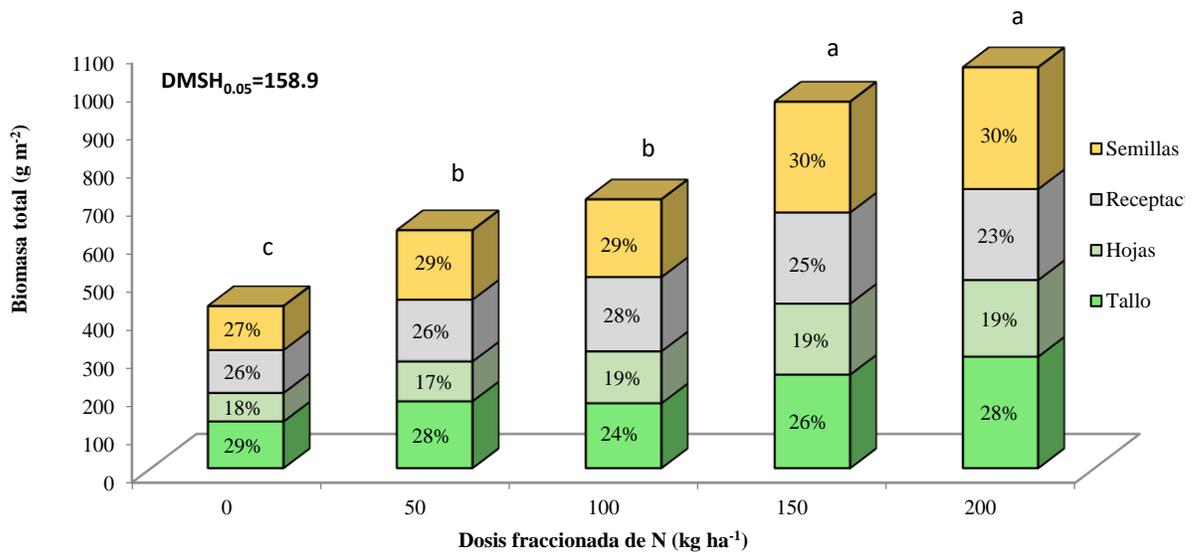


Figura 7. Biomasa total y distribución a los órganos de la planta función de la fertilización fraccionada de nitrógeno. Apatzingán, Michoacán. Otoño de 2019.

En relación al peso seco del tallo por planta en la presente investigación, con las dosis de 150 y 200 kg ha⁻¹ de N se logró un peso superior al máximo registrado en girasol por Escalante *et al.* (2008) con 120 kg ha⁻¹ de N, esto indica la alta demanda de N por parte del girasol.

Finalmente, en girasol cultivar Victoria cultivado bajo condiciones de Apatzingán, Michoacán, a partir de 150 kg ha⁻¹ de N se logró la mayor producción de grano, que en este cultivo es la parte de interés económica, en estas plantas se cosecharon los capítulos de mayor diámetro,

además el N mejoró variables morfológicas como el diámetro del tallo, se mejoró el área foliar, la producción de materia seca total y la proporción de materia seca hacia el grano sin modificar el tiempo a ocurrencia de las fases fenológicas de este cultivo.

Con este trabajo se genera información sobre la respuesta productiva del girasol, así como de una parte del manejo agronómico como lo es la fertilización nitrogenada bajo condiciones del Valle de Apatzingán. Se evidencia que en esta región el cultivo de girasol es altamente productivo y puede ser una opción viable para los productores que les puede permitir la diversificación de la producción agrícola.

CONCLUSIONES

El tiempo a ocurrencia de las fases fenológicas en el cultivo de girasol no se modificó por la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno.

La aplicación de nitrógeno favoreció el incremento en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas, el área foliar, el tamaño del capítulo y la distribución de materia seca hacia el grano y hojas.

A partir de la aplicación de 150 kg ha^{-1} de N se logró el mayor rendimiento de grano y biomasa total.

Bajo condiciones de Apatzingán el cultivo de girasol presenta rendimientos altos, similares a los registrados en otras regiones productoras.

LITERATURA CITADA

- Abayomi, Y. A., Ajibade, T. V., Sammuell, O. F. and Sa'adudeen, B. F. 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(2): 170-176.
- Aguilar, G. L., Escalante, E. J. A, Fucikovsky, Z. L., Tijerina, C. L y Engleman, M. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*, 23: 303-310.
- Aguirrezábal, L. A. N., Orioli, G. A., Hernández, L. F., Pereyra, V. R. y Miravé, J. P. 1998. Girasol. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico". Edición de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) y de la Estación Experimental Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 139-192.
- Apáez, B. P., Escalante, E. J. A. S., Ramírez, V. P., Koch, O. S. D., Sosa, M. E. and Olalde, G, V. M. 2013. Agronomic efficiency of nitrogen, phosphorus and cowpea production using trellis maize. *Terra Latinoamericana*, 31(4): 285-293.
- Apáez, B. P., Escalante, E. J.A.S., Rodríguez, G. M. T., González, C. M. C. and Apáez, B. M. 2014. Analysis of Cowpea Growth and Production in Maize Trellis with Nitrogen and Phosphorus. *International Journal of AgriScience*, 4(2): 102-108.
- Ávila, J., Díaz, A., De La Cruz, R., Moreno, N., Romero, D., Cáceres, R y Flores, R. 2007. Evaluación comparativa de híbridos de girasol (*Helianthus annus* L.) en dos zonas productoras de Venezuela. *Bioagro*, 19(1): 3-9.

- Bono, A., Montoya, J. C y Babinec, F. J. 1999. Fertilización en Girasol. Resultados obtenidos en tres años de estudio. Publicación Técnica N° 48. EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas” INTA. 28 pp.
- Bono, A y Romano, N. 2008. Nutrición mineral y fertilización. El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana. Publicación técnica, 72: 39-48.
- Bye, R., Linares, E y Lentz, D. L. 2009. México: Centro de origen de la domesticación del girasol. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 12(1): 5-12.
- Escalante, E, J. A. S. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana, 17(2): 149-157.
- Escalante, E. L. E., Escalante, E. Y. I y Linzaga, E. C. 2008. Densidad de siembra del girasol forrajero. Agronomía costarricense, 32(2): 177-182.
- Escalante, E. J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana, 17(2): 149-157.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in agronomy, 88: 97-185.
- FAOSTAT, 2018. Producción mundial de girasol. En línea [http: www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org). Consultado el 10 de febrero de 2020.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Godia, S. E. 2005. El girasol. Síntesis técnica actual de su cultivo. Instituto Técnico Agrícola y Ganadero. Número 1.
- Hewitt, E. J. 1963. The essential nutrient elements requirements and interaction in plants. In: F.C. Steward (ed.). Plant physiology Vol. III. Academic Press, New York. pp. 137-362.

- Kemalettin, K. A. R. A. 2018. The effects of nitrogen doses applied at different growing periods on the quality and yield of oil type sunflower (*Helianthus annuus* L.) varieties. Turkish Journal Field Crops, 23(2): 195-205.
- Luevanos, E. M. P., Reyes, V. M. H., Villarreal, Q. J. A. y Rodríguez, R. R. 2010. Obtención de híbridos intergenéricos *Helianthus annuus* x *Tithonia rotundifolia* y su análisis morfológico y molecular. Acta Botánica Mexicana, 90: 105-118
- McCullough, D. E., Girardin, M., Mihajlovic, A., Aguilera, A and Tollenaar, M. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. Canadian Journal of Plant Science, 74: 471-477.
- Melero, V. J. M y Alonso, L. C. 1988. Las enfermedades del girasol. Enfermedades y daños de herbicidas en el cultivo del girasol. pp, 15-126.
- Morales, R. E y Escalante, E. J. A. 2007. Eficiencia en el uso de los insumos agrícolas en la producción de biomasa y el rendimiento del sistema combinado girasol-frijol en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana, 25(4): 373-381.
- Muchow, R.C. and R. Davis. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. Field Crops Research, 18: 17-30.
- Olalde, G. V. M., Escalante, E. J. A., Sánchez, G. P., Tijerina, C. L., Mastache, L. A.A y Carreño, R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Tierra Latinoamericana, 18: 313-323.
- Orioli, G. A., Hernández, L. F., Pereyra, V. R. y Miravé, J. P. 1998. Girasol. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Edición

- de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) y de la Estación Experimental Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp: 139-192.
- Poverene, M. M., Cantamutto, M. A., Carrera, A. D., Ureta, M. S., Salaberry, M.T., Echeverría, M. M y Rodríguez, R. H. 2002. El girasol silvestre (*Helianthus* spp.) en la Argentina: Caracterización para la liberación de cultivares transgénicos. RIA 31: 97-116.
- Puenayan, A., Córdoba, F. y Unigarro, A. 2010. Respuesta del brócoli *Brassica oleracea* var. Italica L. Híbrido Legacy a la fertilización con N - P - K en el municipio de Pasto, Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas, 27: 49-57.
- Quiroga, A. R., Ormeño, O., Bono, A., Rodríguez, N., Montoya, J. C y Babinec, F. J. 1999. Aspectos del manejo de suelos y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. Boletín de Divulgación Técnica N° 64. EEA Anguil INTA. 29 p.
- Santos, J. B. D., Centeno, C. R. M., Azevedo, C. A. V. D., Gheyi, H. R., de-Lima, G. S y Lira, V. M. 2017. Crecimiento del girasol (*Helianthus annuus* L.) en función de la salinidad del agua de riego con fertilización nitrogenada. Agrociencia, 51(6): 649-660.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2007. SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.
- SIAP, 2018. Avance de siembras y cosechas. <http://www.siap.gob.mx> (Fecha de consulta: 12-02-2020).
- Silva, M. L. O., Farias, M. A. F., Morais, A. R., Andrade, G. P e Lima, E. M. 2007. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11: 482-488.

- Silva, T. G. F., Zolnier, J. A. S., Grossi, J. G. Barbosa, C. R. W e Moura, M. A. 2009. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. *Revista Ceres*, 56: 602-610.
- Singh, M. K., Chand, T., Kumar, M., Singh, K. V., Lodhi, S. K., Singh, V. P. and Sirohi. V. S. 2015. Response of different doses of NPK and boron on growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica). *International Journal of Bio-resource Stress Management*, 6: 108-112.
- Schneiter, A. and Miller, J. F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, 21: 901-903.
- Torres-Bazurto, J., Magnitskiy, S., and Sánchez, J. D. 2019. Effect of fertilization with N on height, number of leaves, and leaf area in banana (*Musa* AAA Simmonds, cv. Williams). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(1): 9-17.
- USDA. Foreign Agricultural Service. 2020. Oilseeds: world market and trade. March, 2020. Washington: USDA, 38 p.
- Xu, G., Fan, X. and Miller, A. J. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*, 63: 153-182.