

# Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno y $\beta$ -glucanos en el grano de la avena (*Avena sativa* L.)

HERNÁNDEZ-CAMPUZANO, A.V.<sup>1</sup>; MARTÍNEZ-RUEDA, C.G.<sup>1</sup>; ESTRADA-CAMPUZANO, G.<sup>1</sup>; DOMINGUEZ-LOPEZ, A.<sup>1</sup>

## RESUMEN

La avena contiene cantidades relativamente elevadas de fibra dietética, particularmente de  $\beta$ -glucanos. Esto le confiere un potencial significativo en la producción de alimentos prebióticos, funcionales y nutracéuticos para el hombre. El propósito de este trabajo fue evaluar el efecto del genotipo y de la dosis de nitrógeno (N) aplicada durante el cultivo, sobre el rendimiento y la concentración de  $\beta$ -glucanos y nitrógeno en el grano. Para tal efecto, se sembraron, en la Universidad Autónoma del Estado de México, al norte de la ciudad de Toluca (19°15'33"N, 99°39'38" W, 2640 m s. n. m.) en México, siete variedades comerciales: Turquesa, Obsidiana, Karma, Avemex, Chihuahua, Paramo y Menonita y los tratamientos de fertilización consistieron en 60 y 120 kg N·ha<sup>-1</sup>. Al grano cosechado se le cuantificaron los  $\beta$ -glucanos, además del rendimiento y sus principales componentes. Los resultados mostraron que en los genotipos Turquesa, Paramo y Menonita la fertilización nitrogenada incrementó el contenido de  $\beta$ -glucanos y en los otros cuatro, por el contrario los disminuyó. El rendimiento de grano aumentó con la dosis de N, aunque cada genotipo respondió de manera diferente a este factor. Este parámetro del cultivo se explicó mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de estos. La capacidad de macollaje de la avena permite que los macollos generen la mayor parte del rendimiento y son los macollos los órganos donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada.

**Palabras clave:** dosis de nitrógeno;  $\beta$ -Glucanos; avena; fibra dietética.

## ABSTRACT

*Oat grain contains relatively high amounts of dietary fiber, particularly  $\beta$ -glucans. This is an advantage since it represents a significant potential in the production of human prebiotic, nutraceutical and functional foods. The aim of this work was to evaluate the effect of genotype and nitrogen (N) applied through the growing, on the concentration of grain  $\beta$ -glucans, nitrogen and yield. For this purpose, seven commercial varieties, Turquesa, Obsidiana, Karma, Avemex (Cevamex), Chihuahua, Paramo y Menonita were sowing in the Universidad Autónoma del Estado de México, located north of Toluca city (19°15'33"N, 99°39'38" W, 2640 msnm) in Mexico, and the fertilization treatments consisted of 60, and 120 kg N·ha<sup>-1</sup>.  $\beta$ -glucans content and yield and some of its main components were quantified in harvested grain. Results showed that N dose increases the  $\beta$ -glucans*

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario "El Cerrillo". Km 15, Carr. Toluca-Ixtlahuaca, Entronque El Cerrillo. Apdo. Postal 435, Toluca 50200, Estado de México, México.  
Correo electrónico: adominguezl@uaemex.mx

content in the *Turquesa Paramo* and *Menonita* genotypes and in the other four, the content of this dietary fiber decreases. The grain yield increases with the N dose, although each genotype responds differently to this factor. This parameter is better explained by the number of grains obtained per surface than by the unit grain weight. Grain yield is produced in the tillers and in this part of the architecture of the plants is where the effect of N dose is focused.

**Keywords:** Nitrogen dose;  $\beta$ -Glucans; Oat; Dietary Fiber.

## INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.) es una gramínea que ocupa el sexto lugar en la producción mundial de cereales porque se cultiva ampliamente con el propósito de producir grano para la nutrición humana o forraje para la alimentación animal (Hoffman, 1995). De acuerdo con la FAO (2017), la producción mundial anual de este cereal es de aproximadamente 22.5 millones de toneladas que se obtienen en 9.7 millones de hectáreas, con rendimientos promedio de  $2.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  y con un intervalo de 0.7 a más de  $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . El grano de avena contiene una cantidad considerable de fibra dietética soluble (FD) constituida principalmente por polisacáridos de glucosa denominados  $\beta$ -glucanos, los cuales producen una alta viscosidad cuando se encuentran en soluciones acuosas. Estudios recientes han reportado que las concentraciones de estos compuestos oscilan entre 2.0 y 5.0 g por cada 100 g de grano desprovisto de salvado (Asima *et al.*, 2017). La FD y particularmente los  $\beta$ -glucanos de este cereal han demostrado tener un potencial significativo para disminuir los riesgos de enfermedades cardiovasculares diabetes mellitus tipo 2, desórdenes gastrointestinales y algunos cánceres, debido a sus propiedades prebióticas y antioxidantes (Martínez-Villaluenga y Peñas, 2017).

Particularmente en las zonas urbanas, la alimentación es pobre en FD por una baja ingesta de vegetales. Regularmente no se cumple con el consumo recomendado por la FAO, que es de al menos cinco porciones (80 g cada una) de frutas y verduras por día (Villanueva Carvajal *et al.*, 2013). Puesto que esta meta solo es alcanzada por una minoría de la población mundial y este problema es particularmente importante en núcleos sociales de bajos ingresos, una alternativa viable es la incorporación de estos nutrimentos en la dieta a través de productos alimenticios enriquecidos con extractos que hayan sido obtenidos mediante cultivos agrícolas extensivos. Estos cultivos, como es el caso de la avena, pueden sintetizar FD en cantidades superiores a las de las frutas y verduras convencionales cultivadas en ambientes similares y en un período más corto.

Dado que la composición del grano de avena, así como el rendimiento y sus componentes se ven afectados por el ambiente, el genotipo y la nutrición de la planta (Güller, 2003), es probable que la concentración y características

de los compuestos prebióticos, como los  $\beta$ -glucanos en el grano, también estén influenciados por estos factores. Por una parte, Lim *et al.* (1992) por ejemplo, reportaron una alta variabilidad en la concentración de estos compuestos en diversos cultivares de avena y Ajithkumar *et al.* (2005) demostraron variaciones en cuanto su peso molecular y propiedades reológicas. Por otra parte, Anker-Nilssen *et al.* (2008) encontraron que una temperatura más elevada durante el llenado de granos, en este caso de cebada, dio lugar a un contenido superior de  $\beta$ -glucanos, a un mayor el peso molecular y a una mayor viscosidad de las soluciones acuosas derivadas. Además, en climas cálidos y secos se han observado los niveles más altos de estos polisacáridos (Saasatamoinen, 1995) y, al contrario, los niveles más bajos en climas fríos y húmedos (Brunner y Freed, 1994). Aun así, el estudio de los efectos genotípicos y ambientales sobre la producción de FD, esencialmente  $\beta$ -glucanos, de la avena ha sido poco abordado y enfocar los trabajos de investigación agrónomos acerca de este cereal desde esta perspectiva podría generar alternativas viables para incrementar su cultivo y el valor económico de la producción de grano. En este sentido y con el propósito de proponer a la avena como fuente de ingredientes para la producción de alimentos funcionales y nutracéuticos, es decir, alimentos benéficos para la salud humana, los objetivos de este trabajo fueron: (i) verificar la existencia de variabilidad genética para el rendimiento y sus principales componentes y (ii) evaluar la concentración de N y  $\beta$ -glucanos de este cereal, ante variaciones ambientales dominadas por la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio experimental

El experimento se estableció durante el ciclo verano-otoño de 2014, en la Facultad de Ciencias Agrícolas (Universidad Autónoma del Estado de México), localizada al norte de la ciudad de Toluca ( $19^{\circ}15'33''\text{N}$ ,  $99^{\circ}39'38''\text{W}$ , 2640 m s. n. m.) en México. El clima de esta localidad se clasifica como semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con un rango anual de precipitación de 800 a 1300 mm y de temperatura de 8 a  $14^{\circ}\text{C}$ . Las parcelas se establecieron en una superficie de  $400 \text{ m}^2$  de suelo tipo vertisol pélico

con textura franco-arcillosa. El pH de este suelo fue igual a 6.6, con 6.7% de materia orgánica, 35 kg ha<sup>-1</sup> de N, 123 ppm de P y 564 ppm de K, medidos a 0.6 m de profundidad. Según la determinación de la fertilidad del suelo de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002), este se clasifica como neutro, con niveles medios de materia orgánica y nitrógeno inorgánico, y niveles altos de fósforo y potasio.

### Actividades de campo y tratamientos

La siembra se llevó a cabo manualmente a razón de 120 kg ha<sup>-1</sup> (lo que corresponde aproximadamente a 350 semillas por cada m<sup>2</sup>), a una profundidad de 4 a 5 cm, en hileras separadas a 20 cm. La parcela experimental consistió de seis hileras de 5 m de largo separadas a 0.20 m (6 m<sup>2</sup>). Se consideró como parcela útil para mediciones un área de 0.4 m<sup>2</sup> formada por dos hileras centrales de 1 m de longitud. Como material genético se utilizaron siete variedades de avena: Turquesa (Villaseñor-Mir *et al.*, 2009), Obsidiana (Espitia-Rangel *et al.*, 2007), Karma (Espitia-Rangel *et al.*, 2001), Avemex (Villaseñor-Mir *et al.*, 2001), Chihuahua (INIA, 1971), Paramo (Sudermann, 1975) y Menonita (Salmerón-Zamora, 2002). Los tratamientos de nitrógeno (N) consistieron en 60 y 120 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponden aproximadamente a las dosis más bajas y más altas utilizadas por los productores. En el primer caso se administró al momento de la siembra y en el segundo fraccionado en 60 kg a la siembra y 60 kg al amacollamiento. Se utilizó urea (46% N), 60 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato de calcio triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 30 kg ha<sup>-1</sup> de cloruro de potasio (60% K<sub>2</sub>O). Las malezas se controlaron manualmente durante todo el ciclo del cultivo. No se presentaron plagas y/o enfermedades en este durante el período de crecimiento. Los tratamientos consistieron en un arreglo factorial de 2 dosis de N y 7 variedades de avena (14 tratamientos), los cuales fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

### Cosecha y análisis de grano

La cosecha se realizó de forma manual a los 164 días después de la emergencia. Se cosecharon las plantas en 1 m lineal de los dos surcos centrales en cada unidad experimental. Los tallos de cada planta se separaron en vástago principal y macollos, tras de lo cual fueron secados en una estufa de aire forzado a 60 °C por 72 horas. Con el grano obtenido, tanto de los vástagos principales como de los macollos, se determinó el rendimiento de grano (g m<sup>-2</sup>), número de granos por m<sup>2</sup> y peso individual de grano (mg grano<sup>-1</sup>) para cada fracción; es decir, que se obtuvo un valor de cada una de estas variables con los granos provenientes del vástago principal y otro con aquellos de los macollos.

A cada muestra de grano se le determinó el contenido de β-glucanos mediante el kit enzimático K-TDFR adquirido en Megazyme (Megazyme International Ireland Limited) (Hollmann, *et al.*, 2013) y nitrógeno total mediante el método de Kjeldahl (Nielsen, 2017). Con los datos obtenidos se practicó un análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo

al modelo lineal utilizado y se realizó la comparación de las medias de Tukey (con la ayuda del software Statistical Analysis System V.6.12, EUA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento de grano y algunos de sus componentes

El efecto de la dosis de N, del genotipo y de la interacción entre estos dos factores resultó altamente significativo para el rendimiento y el número de granos, pero no para el peso individual de grano, cuya variabilidad solo dependió del genotipo. De la misma manera, la concentración de nitrógeno y β-glucanos en el grano estuvo más relacionada con el genotipo que con la fertilización nitrogenada (tabla 1). La variabilidad observada en el rendimiento y en el número de granos se explicó principalmente por el efecto del genotipo (26.1 y 38.5%, del total de la suma de cuadrados, respectivamente), en comparación con el efecto de la dosis de N que solo explicó un porcentaje marginal (14.6 y 7.97%, respectivamente). En el caso del peso individual de grano, esta variabilidad se explicó también por el efecto del genotipo (63.8%), ya que el efecto de la dosis de N solamente contribuyó con 4.2%. En lo que corresponde a la variabilidad en los compuestos evaluados en el grano esta se explicó principalmente por los diversos genotipos, ya que este factor integró por sí solo 28.5 y 39.8% de la suma de cuadrados en el ANDEVA para el contenido de nitrógeno y β-glucanos, respectivamente. Los resultados obtenidos en relación con esta fibra dietética están en línea con lo reportado por Humphreys *et al.* (1994), quienes a través del cultivo de cuatro variedades de avena no encontraron un efecto significativo entre la fertilización nitrogenada y el contenido de β-glucanos en el grano.

La comparación de medias para la dosis de N y para los genotipos en cada una de las variables que definen algunos componentes del rendimiento se muestran en la tabla 2. Por una parte, el aumento de la dosis de N produjo un incremento del rendimiento de alrededor de 19%. El número de granos también se incrementó de manera similar, pero a razón 16%. El resto de variables no tuvo un efecto significativo con el incremento en fertilización nitrogenada. Por otra parte, tras un análisis de correlación del número de granos contra el rendimiento, se encontró que por cada 21.45 unidades de incremento del número de granos se tuvo una unidad de aumento del rendimiento (R<sup>2</sup> = 0.84). Además, no se obtuvo ningún otro resultado significativo con alguna otra de variables estudiadas (figura 1). De manera general, los resultados sugieren que, para los genotipos evaluados, el rendimiento de grano se explicó mejor por el número de granos obtenido por m<sup>2</sup> que por el peso individual de estos (tabla 2). De acuerdo con estos resultados, el nitrógeno en el grano, que es la base del cálculo de proteína y la fibra dietética, representada aquí por los β-glucanos, no se vieron afectados por la dosis de N y sus variaciones dependieron esencialmente del genotipo.

Por un lado, el rendimiento de la avena estuvo estrechamente relacionado con el número de granos por unidad de

Fuente	GL	Rendimiento	Número de granos	Peso individual de granos	Nitrógeno en grano	β-Glucanos
Bloque	2	14023 <sup>NS</sup> (1.0)	42.63 <sup>NS</sup> (2.5)	20.30 <sup>NS</sup> (3.4)	0.084 <sup>NS</sup> (8.91)	0.129 <sup>NS</sup> (3.3)
A: Nitrógeno	1	203845 <sup>**</sup> (14.6)	133.88 <sup>*</sup> (7.7)	24.67 <sup>NS</sup> (4.2)	0.000 <sup>NS</sup> (0.03)	0.059 <sup>NS</sup> (1.5)
B: Genotipo	6	365512 <sup>**</sup> (26.1)	664.85 <sup>**</sup> (38.5)	378.21 <sup>**</sup> (63.8)	0.269 <sup>*</sup> (28.5)	1.538 <sup>**</sup> (39.8)
A*B	6	406051 <sup>**</sup> (29.0)	382.98 <sup>*</sup> (22.2)	16.62 <sup>NS</sup> (2.8)	0.231 <sup>*</sup> (24.51)	0.513 <sup>NS</sup> (13.3)
Error	26	410085 (29.3)	503.71 (29.1)	153.34 (25.9)	0.359 (38.05)	1.622 (42.0)
Total	41	1399520	1728.05	593.15	0.944	3.862

**Tabla 1.** Suma de cuadrados del ANDEVA y su significancia y contribución para algunos componentes del rendimiento de la avena.

superficie, posiblemente asociado con un mayor número de panículas y granos por panícula, en línea con lo que ocurre en trigo y cebada (Albrizio *et al.*, 2010; Slafer *et al.*, 2014). Por otro lado, estudios en trigo y cebada mostraron que existe una correlación negativa entre el rendimiento de grano y la concentración de nitrógeno en este, dado principalmente por un proceso de dilución de dicho elemento al tener un incremento en el tamaño del grano (Abeledo *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2014). Los resultados de la tabla 2 y de la figura 1 sugieren que en el caso de la avena no se presenta una correlación significativa entre estas dos variables.

Tal como se observa en la figura 2, la respuesta a la dosis de N fue diferente de acuerdo con el genotipo de avena. En la estimación del rendimiento, número de granos y nitrógeno en grano, la interacción resultó significativa. El genotipo Turquesa, seguido de Chihuahua, fue el que mejor respondió a la fertilización porque produjo el mayor rendimiento y

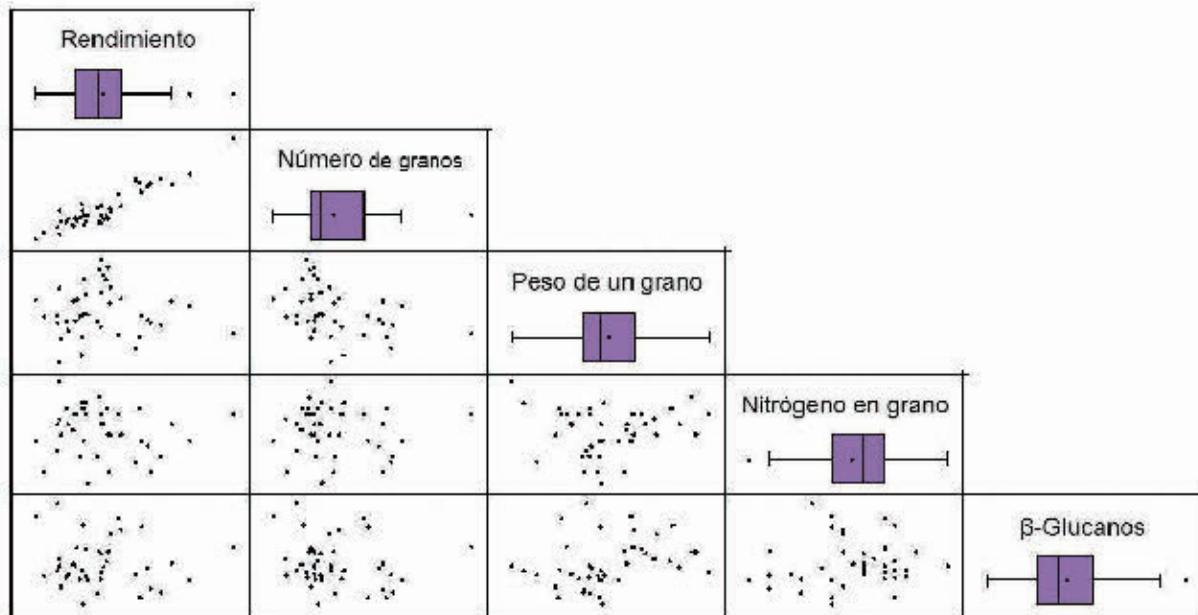
número de granos. En los otros genotipos este efecto no resultó significativo. En cuanto al nitrógeno en grano, fue notoria la respuesta de Obsidiana y Turquesa en donde la fertilización jugó un papel benéfico y Chihuahua donde se observó una disminución de este componente de la proteína del grano, con el incremento en la dosis del fertilizante.

La no significancia del efecto de la dosis de N sobre la síntesis de β-glucanos en el grano de avena (tabla 1) se explica por la interacción genotipo dosis de N (figura 2). Como se puede observar en la figura 2e, en 4 genotipos (Chihuahua, Avemex, Obsidiana y Karma) la dosis de N provocó una disminución de este componente prebiótico del grano de una manera significativa. En contraste, los genotipos Turquesa (en la cual el rendimiento respondió de una manera altamente significativa a la fertilización nitrogenada), Páramo y Menonita mostraron incrementos similares de este compuesto. Estos resultados sugieren

Fuente de variación	Rendimiento (g·m <sup>-2</sup> )	Número de granos(10 <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	Peso de un grano (mg)	Nitrógeno en grano (g/100 g)	β-Glucanos (g/100 g MS)	
Genotipo	Avemex	632.25 <sup>AB</sup>	16.9100 <sup>A</sup>	37.61 <sup>C</sup>	2.15 <sup>B</sup>	3.62 <sup>B</sup>
	Chihuahua	607.38 <sup>A</sup>	20.1214 <sup>A</sup>	30.33 <sup>AB</sup>	1.93 <sup>A</sup>	3.26 <sup>A</sup>
	Karma	764.25 <sup>BC</sup>	26.3406 <sup>B</sup>	28.92 <sup>A</sup>	1.99 <sup>A</sup>	3.45 <sup>AB</sup>
	Menonita	561.63 <sup>A</sup>	18.5413 <sup>A</sup>	30.26 <sup>AB</sup>	2.15 <sup>B</sup>	3.47 <sup>AB</sup>
	Obsidiana	675.92 <sup>AB</sup>	20.6491 <sup>A</sup>	32.86 <sup>B</sup>	1.98 <sup>A</sup>	3.93 <sup>C</sup>
	Paramo	568.71 <sup>A</sup>	15.5999 <sup>A</sup>	36.03 <sup>C</sup>	2.02 <sup>AB</sup>	3.54 <sup>AB</sup>
	Turquesa	828.21 <sup>C</sup>	26.4991 <sup>B</sup>	31.14 <sup>AB</sup>	1.98 <sup>A</sup>	3.60 <sup>B</sup>
DMS <sub>95%</sub>	149.04	5.22	2.88	0.14	0.30	
Dosis de N (kg·ha <sup>-1</sup> )	60	592.95 <sup>A</sup>	18.8805 <sup>A</sup>	31.68 <sup>A</sup>	2.03 <sup>A</sup>	3.59 <sup>A</sup>
	120	732.29 <sup>B</sup>	22.4513 <sup>B</sup>	33.22 <sup>A</sup>	2.03 <sup>A</sup>	3.52 <sup>A</sup>
	DMS <sub>95%</sub>	79.67	2.79	1.54	0.07	0.16

DMS: Diferencia mínima significativa al 95% de confianza.

**Tabla 2.** Valores medios de Rendimiento, Número de granos, Peso individual de granos Nitrógeno en granos y contenido de β-glucanos en 7 genotipos de avena cultivados en 2 dosis de N bajo condiciones de temporal en Toluca, México.



**Figura 1.** Correlaciones entre variables relacionadas con el rendimiento y la composición del grano de avena.

que, dependiendo de los genotipos cultivados, la fertilización nitrogenada promueve el incremento del contenido de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena o por el contrario los disminuye. Por una parte, esto concuerda con los resultados obtenidos por Güler (2003), quien encontró que altos niveles de N aumentaban significativamente el contenido de  $\beta$ -glucanos en la cebada, y por Noworolnik *et al.* (2014), quienes, además, reportaron que las variaciones en el contenido de fibra insoluble en la cebada no dependían de la fertilización nitrogenada. Por otra parte, Welch *et al.* (1991), en cultivos de avenas modernas y silvestres encontraron una alta variabilidad en el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de  $\beta$ -glucanos en el grano. Además, tampoco observaron, como en el caso de este estudio, una correlación entre la proteína del grano y estos compuestos polisacáridos.

#### Relación entre macollos y vástago principal

La figura 3 representa la fracción del número total de granos obtenidos (por metro cuadrado) en los macollos contra la fracción del rendimiento en grano, correspondiente a esta estructura de la planta (figura 3a) y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal (figura 3b). En esta figura también se observa el efecto de la dosis de N sobre estas relaciones mediante flechas. La distribución de los componentes que definen el rendimiento en los macollos y el vástago principal varió entre genotipos y con la fertilización. Los genotipos Turquesa, Obsidiana, Chihuahua y, en menor medida, Páramo, incrementaron significativamente

el número de granos en los macollos con la dosis de N, lo que implica que la fracción correspondiente al vástago principal disminuyó. Al mismo tiempo, la fracción del rendimiento, correspondiente a los macollos, también aumentó, destacándose Páramo, Turquesa y Obsidiana (figura 3a). También es evidente que fueron los genotipos Karma, Menonita y Avemex los que tuvieron una respuesta muy pequeña, comparada con los otros, a la fertilización nitrogenada. Estos resultados coinciden con los reportados por Peltonen-Sainio y Järvinen (1995) quienes encontraron, en avenas semienanas que los macollos contribuyeron con 27% del rendimiento en grano.

La figura 3b indica que cuando la fracción de granos en los macollos fue baja, el tamaño de los granos de los macollos fue relativamente menor a aquellos de los vástagos principales. Por el contrario, cuando dicha fracción tendió a uno, el peso de los granos en los macollos tendió a incrementarse. De acuerdo con esta figura, no se observaron valores de esta relación iguales o mayores que uno, lo que implica que los granos de los macollos resultaron con menor peso que los del vástago principal. Es notorio cómo el incremento en el rendimiento de Páramo con la dosis de N se explicó por el incremento en el peso de los granos provenientes de los macollos, en cambio Karma y Menonita no respondieron o, al contrario, la fertilización nitrogenada incrementó el peso de los granos del vástago principal.

Estos resultados sugieren que el amacollamiento en avena forma parte importante en la formación del rendimiento de grano y sobre estas estructuras ejerce un papel fundamental la fertilización nitrogenada, probablemente debido a su efecto sobre la sobrevivencia de estos. Empero, el componente

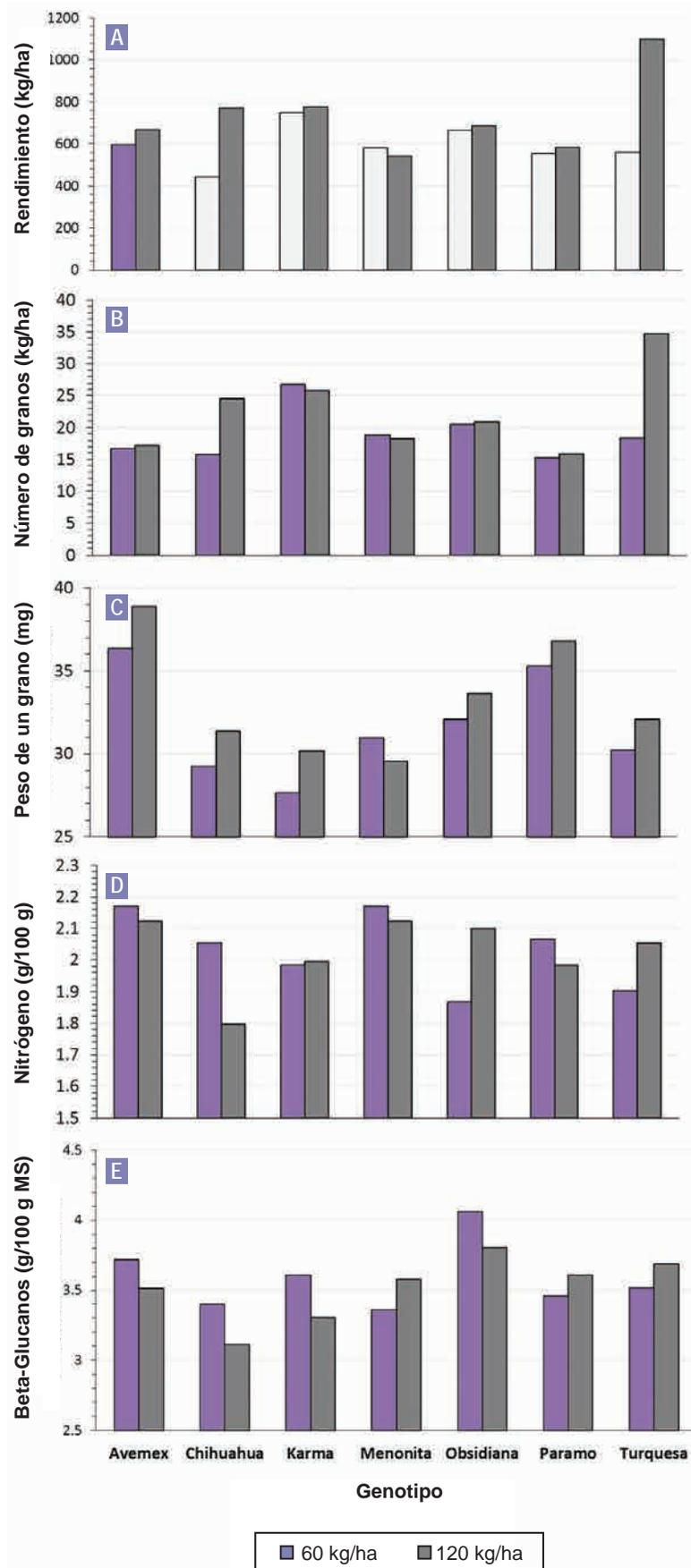
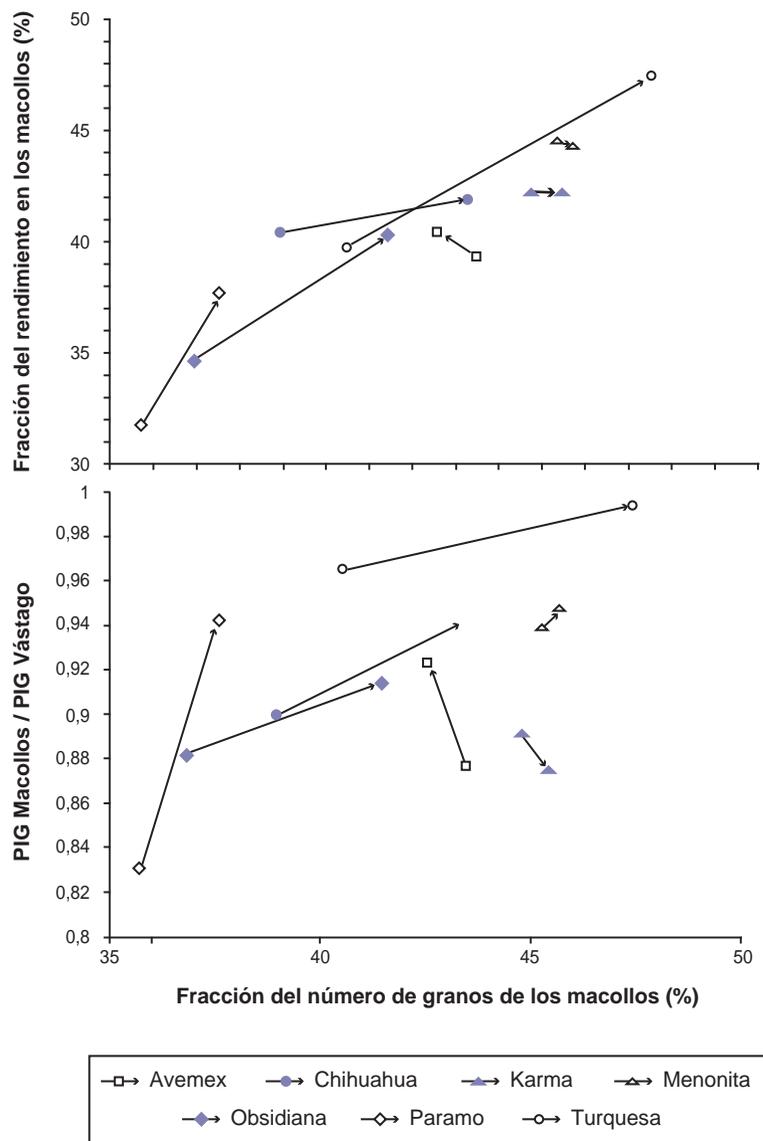


Figura 2. Interacción Genotipo\*Dosis de N en avena.



**Figura 3.** Fracción del total de granos obtenidos (por metro cuadrado) correspondiente a los macollos contra la fracción del rendimiento en grano, propia de esta estructura de la planta (A) y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal (B).

genotipo debe ser tomado en cuenta ya que existe variabilidad en la capacidad de amacollamiento en esta especie vegetal; además, es importante hacer notar que Peltonen-Sainio y Järvinen (1995) concluyeron que altas densidades de siembra disminuyen el amacollamiento en la avena, aunque acortan la longitud del vástago principal y se observan decrementos en el rendimiento y sus componentes.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, las diferencias de rendimiento de grano se debieron

principalmente al genotipo y, de manera secundaria, a la fertilización nitrogenada. Ambos factores se manifestaron de manera significativa a través del número de granos por  $m^2$ . La capacidad de macollaje de la avena permitió que los macollos generen la mayor parte del rendimiento y fueron los macollos los órganos donde se concentró el efecto de la fertilización. Los datos obtenidos permitieron demostrar que la avena (al igual que otros cereales de invierno) responde al N a través del número de granos por  $m^2$ . La respuesta en el contenido de  $\beta$ -glucanos y nitrógeno en el grano a la fertilización no fue uniforme entre cultivares, predominando el efecto de la interacción sobre el de la dosis de N.

## AGRADECIMIENTOS

La autora Alemi Viridiana Hernández-Campuzano desea agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) por la beca que le permitió realizar sus estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABELED, L.G.; CALDERINI, D.F.; SLAFER, G.A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Research*, 106, 171-178.
- AJITHKUMAR, A.; ANDERSSON, R.; ÅMAN, P. 2005. Content and molecular weight of extractable  $\beta$ -glucan in american and swedish oat samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1205-1209.
- ALBRIZIO, R.; TODOROVIC, M.; MATIC, T.; STELLACCI, A.M. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 115, 179-190.
- ANKER-NILSSEN, K.; SAHLSTRØM, S.; KNUTSE, S.H.; HOLTEKJØLEN, A.K.; UHLEN, A.K. 2008. Influence of growth temperature on content, viscosity and relative molecular weight of water-soluble  $\beta$ -glucans in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Cereal Science*, 48, 670-677.
- ASIMA, S.; ADIL, G.; MASOODI, F.A.; SHOIB WANI, M.; ASHWAR, B. A. 2017. Structural, rheological and nutraceutical potential of  $\beta$ -glucan from barley and oat. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 10, 10-16.
- BRUNNER, B.R.; FREED, R.D. 1994. Oat grain  $\beta$ -glucan content as affected by nitrogen level, location and year. *Crop Science*, 34, 473-476.
- ESPITIA-RANGEL, E.; VILLASEÑOR-MIR, H.E.; HUERTA-ESPINO, J.; SALMERÓN-ZAMORA, J.J.; GONZÁLEZ-IÑIGUEZ, R.M.; OSORIO-ALCALÁ, L. 2007. Obsidiana, variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agricultura Técnica en México*, 33, 95-98.
- ESPITIA-RANGEL, E.; VILLASEÑOR-MIR, H.E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of "Karma" Oat. *Crop Science*, 41, 266-266.
- FAO. 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- GÜLER, M. 2003. Barley grain b-glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *Field Crops Research*, 84, 335-340.
- HOFFMAN, L.A. 1995. World production and use of oats. En: WELCH, R.W. The oat crop. Production and utilization. Capítulo 2. Springer-Science+Business Media, B.V. EUA. p. 34.
- HOLLMANN, J.; THEMEIER, H.; NEESE, U.; LINDHAUER, M.G. 2013. Dietary fibre fractions in cereal foods measured by a new integrated AOAC method. *Food Chemistry*, 140, 586-589.
- HUMPHREYS, D.G.; SMITH, D.L.; MATHER, D.E. 1994. Nitrogen fertilizer and seeding date induced changes in protein, oil and  $\beta$ -glucan contents of four oat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 20, 283-290.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA). 1971. Chihuahua. *Oat Newsletter*, 22, 59-59.
- LIM, H.S.; WHITE, P.J.Y.; FREY, K.J. 1992. Genotypic effects on b-glucan content of oat lines grown in two consecutive years. *Cereal Chemistry*, 69, 262-265.
- MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; PEÑAS, E. 2017. Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms. Review Article. *Current Opinion in Food Science*, 14, 26-31.
- NIELSEN, S.S. 2017. *Food Analysis*. 5th edition. Food Science Text Series. Springer
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial (Segunda Sección). México, D. F., p. 85.
- NOWOROLNIK, K.; WIRKIJOWSKA, A.; MIKOS-SZYMANSKA, M. 2014. Effect of genotype and nitrogen fertilization on grain yield and quality of spring barley intended for health food use. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 576-580.
- PELTONEN-SAINIO, P.; JÄRVINEN, P. 1995. Seeding rate effects on tillering, grain yield, and yield components of oat at high latitude. *Field Crops Research*, 40, 49-56.
- SAASATAMOINEN, M., 1995. Effects of environmental factors on the b-glucan content of two oat varieties. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 45, 181-187.
- SALMERÓN-ZAMORA, J.J. 2002. Menonita: Nueva variedad de avena de temporal para grano y forraje. *Agricultura Técnica en México*, 28, 87-88.
- SLAFER, A.G.; SAVIN, R.; SADRAS, V.O. 2014. Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research* 157, 71-83.
- SUDERMANN, P.D. 1975. Páramo. *Oat Newsletter*, 26, 67-67.
- VILLANUEVA-CARVAJAL, A.; DOMINGUEZ-LOPEZ, A.; BERNAL-MARTÍNEZ, L.R.; DÍAZ-BANDERA, D. 2013. Hibiscus sabdariffa L. confectionery gels, in vitro digestion, antioxidant activity and phenolic compounds quantification: a nutraceutical application. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 2659-2667.
- VILLASEÑOR-MIR, H.E.; ESPITIA-RANGEL, E.; HUERTA-ESPINO, J.; OSORIO-ALCALÁ, L.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agricultura Técnica en México*, 35, 487-492.
- VILLASEÑOR-MIR, H.E.; ESPITIA-RANGEL, E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of "Cevamex" Oat. *Crop Science*, 41, 266-267.
- WELCH, R.W.; LEGGETT, J.M.; LLOYD, J.D. 1991. Variation in the kernel (1/3) (1/4)- $\beta$ -D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *Journal of Cereal Science*, 13, 173-178.
- ZHAO, Z.; WANG, E.; WANG, Z.; ZANG, HECANG, L.; YUNPENG, A.; JOHN, F. 2014. A reappraisal of the critical nitrogen concentration of wheat and its implications on crop modeling. *Field Crops Research* 164, 65-73.