



# Universidad Autónoma del Estado de México

Maestría y Doctorado en Ciencias  
Agropecuarias y Recursos Naturales

---

---

**•Evaluación de rendimiento de grano y  
contenido de  $\beta$ -glucanos en variedades de  
avena de valles altos•**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A :

**Alemi Viridiana Hernández Campuzano**



Campus Universitario •El Cerrillo• Toluca, Estado de  
México. Junio de 2017.



# Universidad Autónoma del Estado de México

Maestría y Doctorado en Ciencias  
Agropecuarias y Recursos Naturales

---

---

**•Evaluación de rendimiento de grano y  
contenido de  $\beta$ -glucanos en variedades de  
avena de valles altos•**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A :

**Alemi Viridiana Hernández Campuzano**

COMITÉ TUTORIAL:

Tutor Académico: Dr. Aurelio Domínguez López  
Tutor Adjunto: Dr. Gaspar Estrada Campuzano  
Tutor Adjunto: Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda

Campus Universitario •El Cerrillo• Toluca, Estado de  
México. Junio de 2017.



# CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS .....	iii
DEDICATORIAS .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. Avena ( <i>Avena Sativa</i> L.) .....	4
2.2. La fibra dietética y los $\beta$ -glucanos de la avena.....	6
2.3. Factores que afectan los niveles de $\beta$ -glucanos durante el cultivo de la avena.....	9
III. JUSTIFICACIÓN.....	11
IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	12
4.1. Objetivos .....	12
4.2. Hipótesis.....	12
V. MATERIALES Y METODOS.....	13
5.1. Descripción del sitio experimental .....	13
5.2. Actividades de campo y tratamientos .....	13
5.3. Cosecha y análisis de grano.....	15
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
6.1. Advertencia .....	16
6.2. Rendimiento de grano y algunos de sus componentes.....	16
6.3. Relación entre macollos y vástago principal.....	21

VII. CONCLUSIONES ..... 25

VIII. AGRADECIMIENTOS ..... 26

XIX. BIBLIOGRAFÍA ..... 27

ANEXO I ..... 30

ANEXO II ..... 47

# ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Tabla 1.</b> Suma de cuadrados del análisis de varianza y su significancia y contribución para algunos componentes del rendimiento de la avena. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Valores medios de Rendimiento, Número de granos, Peso individual de granos Nitrógeno en granos y contenido de $\beta$ -glucanos en 7 genotipos de avena cultivados en 2 dosis de N bajo condiciones de temporal en Toluca, México. ....	18
<b>Figura 1.</b> Superficie cosechada y rendimiento de avena en México a través del tiempo. ....	5
<b>Figura 2.</b> Monómeros de $\beta$ -glucanos. ....	7
<b>Figura 3.</b> Distribución de las unidades experimentales. ....	14
<b>Figura 4.</b> Correlaciones entre variables relacionadas con el rendimiento y la composición del grano de avena. ....	19
<b>Figura 5.</b> Interacción Genotipo*Dosis de nitrógeno en avena. ....	20
<b>Figura 6.</b> Fracción del total de granos obtenidos correspondiente a los macollos contra la fracción del rendimiento en grano, propia de esta estructura de la planta y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal. ....	24

## DEDICATORIAS

*Dedico esta tesis a mi familia,  
especialmente a mi esposo,  
que día a día tiene que soportarme,  
Te quiero y te doy las gracias  
desde el fondo de mi corazón.*

*A ti Ximena Bethzabé  
que cada mañana me inyectas  
ánimos para seguir adelante.*

*¡SI SE PUEDE! ¡í*

*Y al Dr. Aurelio,  
Que ha sido el impulsor de este  
Proyecto desde el principio,  
no puedo agradecer  
lo suficiente su apoyo,  
creatividad y ayuda.*

# AGRADECIMIENTOS

*Agradezco primeramente a  
Dios que me ha permitido  
llegar hasta este punto  
de mi vida.*

*A ti que te das la oportunidad  
de leer estas líneas.*

*A la Facultad de Ciencias Agrícolas  
mi alma mater, por permitirme  
obtener un grado más.*

*Al CONACyT quien me apoyo  
arduamente la realización de  
este proyecto.*

*Por último y no  
menos importante  
mi total agradecimiento a  
Aurelio, Carlos Gustavo y Gaspar,  
tutores y grandes impulsores  
de este proyecto.*

## 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 en el grano. Para tal efecto, se sembraron 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 algunos de sus componentes. Los resultados mostraron que en los genotipos Turquesa Paramo y Menonita, la fertilización nitrogenada incrementa el contenido de  $\beta$ -glucanos y en los otros cuatro, por el contrario los disminuye. El rendimiento de grano aumenta con la dosis de N, aunque cada genotipo responde de manera diferente a este factor. Este parámetro del cultivo se explica mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de los mismos. El rendimiento de grano se genera en los macollos y en esta parte de la arquitectura de la planta es donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, el componente genotipo debe ser tomado en cuenta al realizar acciones que promuevan el amacollamiento en esta especie vegetal.

**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 and yield. For this purpose, seven commercial varieties, Turquesa, Obsidiana, Karma, Avemex (Cevamex), Chihuahua, Paramo y Menonita were sowing and the fertilization treatments consisted of 60, and 120 kg N·ha<sup>-1</sup>.  $\beta$ -glucans content and yield and some of its components were quantified in harvested grain. Results showed that N dose increases the  $\beta$ -glucans 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. However, the genotype component should be taken into account when performing actions that promote the oat tillering.

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

# I. INTRODUCCIÓN GENERAL

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 t·ha<sup>-1</sup> y con un intervalo de 0.7 a más de 7 t·ha<sup>-1</sup>. 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).

Sobre todo en las zonas urbanas, una alimentación rica en FD, por una ingesta elevada de vegetales, es relativamente escasa. 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 sólo 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

alimentos 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 de tiempo más corto.

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 posible, entonces, que la concentración y características de los compuestos prebióticos, como los  $\beta$ -glucanos en el grano, también estén influenciados por estos factores. 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) reportaron 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 (Saastamoinen, 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 nutraceuticos, es decir, alimentos benéficos para la salud humana, el objetivo de este trabajo fue verificar la existencia de variabilidad genética para el rendimiento y

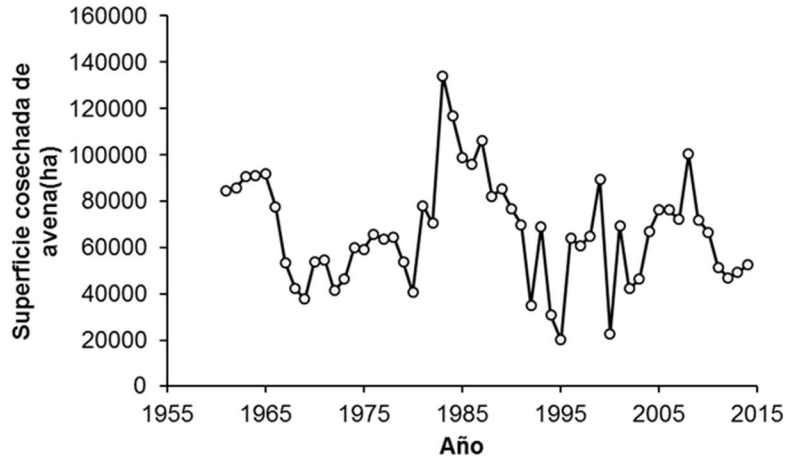
algunos de sus componentes y la concentración de  $\beta$ -glucanos de este cereal y, al mismo tiempo, explicar estas variaciones en función de la fertilización nitrogenada y de la interacción genotipo-dosis de nitrógeno.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

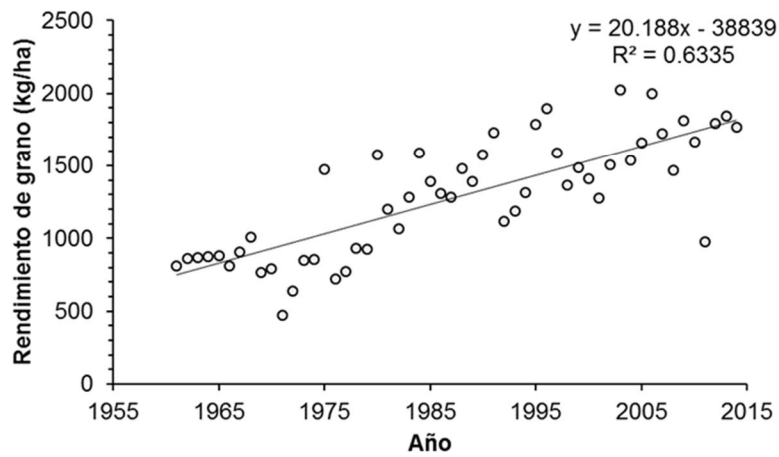
### 2.1. Avena (*Avena Sativa* L.)

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). Según 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  $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015), en México el cultivo de avena forrajera es predominantemente de temporal. En las cuatro principales entidades productoras, la superficie de esta modalidad alcanza 485 mil hectáreas. Durante el año 2015 se produjeron aproximadamente 10.84 millones de toneladas de forraje a partir de esta gramínea principalmente en los Estados de Chihuahua (34.5%), Durango (15.7%), México (11.2%) y Zacatecas (7.4%).

En lo que toca a la avena para grano, la producción nacional para el año 2015 fue de 93,000 toneladas que se produjeron en Chihuahua (51.3%), Estado de México (19.3%), Hidalgo (12.1%) y Zacatecas (6.8%), principalmente (SIAP, 2015). Sin embargo, de acuerdo con los datos históricos reportados por la FAO (2017) esta producción es variable de un año a otro, toda vez que la superficie cultivada ha fluctuado significativamente a través de los años, aunque el rendimiento ha ido en aumento a razón de  $20.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  cada año (Figura 1).



(A)



(B)

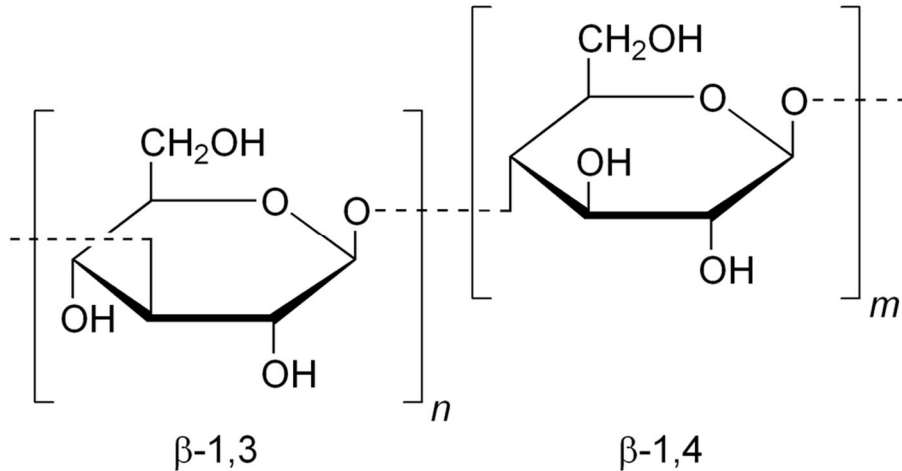
**Figura 1.** Superficie cosechada (A) y rendimiento de grano de avena (B) en México a través del tiempo. Referencia: Elaboración propia a partir de datos de FAO (2017).

El consumo *per cápita* de avena en México es de aproximadamente 1.9 kg (SIAP, 2015) y esto se debe básicamente a que se sabe que tiene varias cualidades nutricionales, por ejemplo un mayor contenido de proteína a comparación de otros cereales (13-22%), con una composición de aminoácidos bien equilibrada. El contenido de grasa es también mayor que en el trigo, el centeno

y la cebada, con una gran proporción de lípidos insaturados, incluyendo linoleico y ácido oleico. Pero principalmente, el consumo de avena tiene la ventaja de proveer al cuerpo humano de fibra dietética soluble compuesta especialmente de  $\beta$ -glucanos (Andersson et al, 2011). Porque además, se ha demostrado que estos compuestos de la avena tienen efectos reductores de colesterol, la insulina y glucosa, lo que reduce el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 y enfermedades del corazón. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) también ha declarado recientemente que un consumo regular de  $\beta$ -glucanos contribuye con el mantenimiento de concentraciones normales de colesterol en la sangre. Algunos factores importantes que influyen en la viscosidad de soluciones de los polisacáridos son; peso molecular, la estructura y concentración, y son por lo tanto contribuyen de manera importante en los efectos nutricionales de los  $\beta$ -glucanos (Andersson et al, 2011).

## **2.2. La fibra dietética y los $\beta$ -glucanos de la avena**

Como se observa en la Figura 2, los  $\beta$ -glucanos de los cereales son homo-polisacáridos lineales formados por monómeros de (1-4)  $\beta$ -D-glucosa unidos consecutivamente (es decir, segmentos de celulosa oligomérica) que están separados por enlaces individuales (1  $\rightarrow$  3). Los  $\beta$ -glucanos muestran todas las propiedades funcionales de los alimentos viscosos y formadores de geles de hidrocoloides combinados con todas las propiedades fisiológicas de las fibras dietéticas (Lazaridou y Biliaderis, 2007).



**Figura 2.** Monómeros de  $\beta$ -glucanos.

El enlace mixto (1 3) (1 4) -  $\beta$ -D-glucano ( $\beta$ -glucano) de los cereales posee una serie de funcionalidades y funciones que lo hacen único como un componente de la pared celular de la planta y como fibra dietética. Se clasifica generalmente como una fibra dietética soluble, una subdivisión introducida en reconocimiento del hecho que algunas fibras dietéticas atenúan los altos niveles de glucosa e insulina en la sangre y disminuyen el nivel de colesterol sérico. Estas funcionalidades, con posibles beneficios a la salud, forman parte de la definición de fibra dietética adoptada recientemente por la Asociación Americana de Química de Cereales Internacional. Algunos estudios indican que el consumo de cereales de grano entero y en particular de la avena puede reducir la presión sanguínea. Además, tienen propiedades de potenciación inmunológica (Wood, 2007).

La elevada concentración de fibra dietética, particularmente  $\beta$ -glucanos en la avena, y algunos compuestos polifenólicos, le confieren a este cereal un potencial significativo como alimento



prebiótico y funcional. Es decir, como un producto natural que además de proveer de nutrimentos, ayudaría a contrarrestar los efectos del estrés, del envejecimiento y en general del deterioro del cuerpo humano, o en algunos casos reducir sustancialmente el riesgo de contraer enfermedades como el cáncer. Esto se debe a que su consumo cotidiano podría estimular el desarrollo de bacterias benéficas, tales como *Lactobacilli* y *Bifidobacteria* en el tracto gastrointestinal y en consecuencia, protegerlo de estas enfermedades (Agil y Hosseinian, 2012). De acuerdo con Wood (2007) el consumo de 3 g por día de  $\beta$ -glucanos derivados de la avena o de otros cereales podría acarrear los beneficios a la salud ya mencionados.

El consumo de fibra dietética, a través de una alimentación rica en vegetales es relativamente bajo. De acuerdo con la FAO, aun cuando no se ha definido una ingesta dietética de referencia de estos nutrimentos, una manera conveniente de incorporarlos en una dieta regular es incluir al menos cinco porciones (80 g cada una) de frutas y verduras por día. Esta meta sólo es alcanzada por una minoría de la población mundial y este problema es particularmente importante en núcleos sociales de bajos ingresos en los países subdesarrollados. Una alternativa viable para satisfacer las necesidades de la población 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 fibra dietética en cantidades superiores a las de las frutas y verduras convencionales cultivadas en ambientes similares y en un período de tiempo más corto (Cruz-Vázquez et al. 2017).

### **2.3. Factores que afectan los niveles de $\beta$ -glucanos durante el cultivo de la avena**

Tiwari y Cummins (2009) reportaron, como resultados de un estudio de simulación, que los factores de mayor impacto que afectan los niveles de  $\beta$ -glucanos durante el cultivo de la avena son, en primer lugar, los cultivares de este cereal. La concentración de estos compuestos en el grano de la avena está regulada genotípicamente. En segundo lugar, la siembra tardía del cultivo afecta benéficamente la concentración de estos compuestos. En tercer lugar, la cosecha en el momento de madurez fisiológica, toda vez que una siega tardía, es decir una permanencia excesiva de la avena madura en el campo, disminuye el contenido de esta fibra dietética. Por último, la fertilización nitrogenada presenta un ligero efecto también positivo.

La mayoría de los estudios sobre los efectos del medio ambiente y el genotipo de avena sobre el  $\beta$ -glucano sólo han tomado en consideración el contenido. Ha sido demostrado que existe de una, dos a tres veces la variación en la concentración de  $\beta$ -glucanos de cultivares de avena (Lim et al, 199; Ajithkumar et al., 2005). Uno de los factores ambientales que influyen en el contenido de  $\beta$ -glucanos y otras características de la avena es el nitrógeno del suelo. Varios estudios anteriores han encontrado que los  $\beta$ -glucanos se incrementan por los fertilizantes nitrogenados (Welch et al, 1991; Brunner y Freed, 1994; Baur y Geisler, 1996), aunque Humphreys et al. (1994) no encontró efecto significativo de fertilizantes de nitrógeno sobre el contenido de esta fibra dietética. Este respuesta inconsistente de la aplicación de fertilizantes también fue descrita por Weightman et al. (2004). Hasta el momento, este aspecto debería ser todavía investigado, lo que le da justificación al presente trabajo.

En el crecimiento de cultivo influyen la temperatura y la precipitación que también afecta al contenido de  $\beta$ -glucanos en la avena, en general en climas cálidos y secos se observan los niveles más altos de  $\beta$ -glucanos (Saastamoinen, 1995) y niveles más bajos en climas fríos y húmedos (Brunner y Freed, 1994; Güler, 2003). Sin embargo, otros reportan resultados contradictorios (Lim et al., 1992).

Finalmente, investigaciones realizadas del efecto de la temperatura en el peso molecular de los  $\beta$ -glucanos demostraron que una temperatura más elevada durante el llenado de granos dio lugar a un incremento del peso molecular de los  $\beta$ -glucanos y un mayor contenido y viscosidad, lo que representa una consecuencia de la estructura de este tipo de moléculas (Anker-Nilssen et al., 2008).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Debido a que el cultivo de avena no ha sido ampliamente estudiado, su uso y comercialización se limita principalmente a la producción de cereales matinales de consumo humano y la producción de forraje para alimentación animal. Por tanto se ha planteado la alternativa de ser utilizado para la extracción de su ingrediente funcional el  $\beta$ -glucanos, que tiene la capacidad de fungir como matriz acarreadora de compuestos bioactivos debido a su capacidad de llegar al colon sin digerir, lo que permitirá recubrir compuestos bioactivos de la alimentación y de este modo incrementar su biodisponibilidad, proporcionando un valor agregado tanto al cultivo de avena así como dar una solución a la baja disponibilidad de esta fibra dietética, y determinar su viabilidad de ser incorporado a procesos industriales en la elaboración de alimentos funcionales.

## **IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **4.1. Objetivos**

Con el propósito de proponer a la avena como fuente de ingredientes para la producción de alimentos funcionales y nutraceuticos, es decir, alimentos benéficos para la salud humana, los objetivos de este trabajo fueron:

Verificar la existencia de variabilidad genética para el rendimiento y algunos de sus componentes y la concentración de  $\beta$ -glucanos de este cereal y, al mismo tiempo.

Explicar estas variaciones en función de la fertilización nitrogenada y de la interacción genotipo-dosis de nitrógeno.

### **4.2. Hipótesis**

La concentración de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena depende del genotipo y de la fertilización nitrogenada que reciba durante el cultivo de este cereal.

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1. Descripción del sitio experimental**

El experimento se estableció, bajo temporal, 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°15'33.00"N, 99°39'38.00"W, 2640 msnm) en México. El clima de esta localidad se clasifica como semifrío sub-húmedo con lluvias en verano, con un rango anual de precipitación de 800 a 1 300 mm y de temperatura de 8 a 14 °C. Las parcelas se establecieron en una superficie de 400 m<sup>2</sup> de suelo tipo vertisol pélico con textura franco-arcillosa. Análisis preliminares mostraron que el pH del 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. 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.

### **5.2. Actividades de campo y tratamientos**

La siembra se llevó a cabo manualmente a razón de 120 kg ha<sup>-1</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 (3.6 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>. En el primer caso se administró al momento de la siembra y en el segundo fraccionado en 60 unidades a la siembra y 60 unidades 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 el mismo durante el periodo de crecimiento. En cada dosis de N, los siete genotipos fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones (Figura 3).

BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO
BORDO	36 KARMA	35 CHIHUAHUA	22 TURQUESA	21 PARAMO	8 CEVAMEX	7 TURQUESA	BORDO
BORDO	37 OBSIDIANA	34 KARMA	23 CEVAMEX	20 CEVAMEX	9 CHIHUAHUA	6 MENONITA	BORDO
BORDO	38 MENONITA	33 PARAMO	24 CHIHUAHUA	19 TURQUESA	10 OBSIDIANA	5 CEVAMEX	BORDO
BORDO	39 CEVAMEX	32 OBSIDIANA	25 KARMA	18 MENONITA	11 MENONITA	4 CHIHUAHUA	BORDO
BORDO	40 TURQUESA	31 MENONITA	26 OBSIDIANA	17 CHIHUAHUA	12 PARAMO	3 KARMA	BORDO
BORDO	41 CHIHUAHUA	30 TURQUESA	27 MENONITA	16 KARMA	13 TURQUESA	2 PARAMO	BORDO
BORDO	42 PARAMO	29 CEVAMEX	28 PARAMO	15 OBSIDIANA	14 KARMA	1 OBSIDIANA	BORDO
BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO	BORDO

**Figura 3.** Distribución de las unidades experimentales.

### 5.3. 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 (REND, g m<sup>-2</sup>), número de granos por m<sup>2</sup> (NG) y peso individual de grano (PIG, mg grano<sup>-1</sup>) para cada fracción, de tal manera que se obtuvo un valor de REND, NG y PIG de granos provenientes del vástago principal y otro de los macollos.

A cada muestra de grano se le determinó, el contenido de  $\beta$ -glucanos, mediante el kit enzimático K-TDFR adquirido en Megazyme (Megazyme International Ireland Limited) (Hollmann, *et al.*, 2013) y Nitrógeno total mediante el método convencional de la AOAC. Con los datos obtenidos se practicó un análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo al modelo lineal utilizado y se realizó la comparación de las medias de la diferencia mínima significativa (con la ayuda del software Statistical Analysis System V.6.12, USA).



## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Advertencia**

La mayor parte de resultados que se presentan a continuación fue enviada para su publicación en el siguiente artículo:

Hernández-Campuzano, A.V.; Martínez-Rueda C.G.; Estrada-Campuzano G.; Dominguez-Lopez A. (2016). Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de  $\beta$ -glucanos de la avena (*Avena sativa* L.). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, (en revisión).

Una copia de este artículo, tal como ha sido publicada se muestra en el Anexo 1.

La Revista de Investigaciones Agropecuarias se encuentra indexada en Scopus y RedALyC, entre otros índices bibliométricos (Anexo 2).

### **6.2. Rendimiento de grano y algunos de sus componentes**

En la Tabla 1 se reportan las sumas de cuadrados obtenidas a partir del análisis de varianza para el rendimiento, el número de granos por metro cuadrado, el peso individual de grano y el contenido de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos en el grano de avena en función de la fertilización nitrogenada y del genotipo. 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 sólo dependió del genotipo. De la misma manera, la concentración de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos en el grano está más relacionada con el genotipo que con la fertilización.

La variabilidad observada en el rendimiento y en el número de granos se explica 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 sólo explica un porcentaje marginal de 14.6 y 7.97%, respectivamente. En el caso del peso individual de grano, esta variabilidad se explica 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 ésta se explicó principalmente por los diversos genotipos, ya que este factor integró por sí solo 28.5 y 39.8% para el contenido de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos, respectivamente de la suma de cuadrados en el análisis de varianza. 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  $\beta$ -glucanos en el grano.

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

Fuente	GL	Rendimiento	Número de granos	Peso individual de granos	Nitrógeno en grano	$\beta$ -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** (14.6)	133.88* (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** (26.1)	664.85** (38.5)	378.21** (63.8)	0.269* (28.5)	1.538** (39.8)
A*B	6	406051** (29.0)	382.98* (22.2)	16.62 <sup>NS</sup> (2.8)	0.231* (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

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 muestra en la Tabla 2. 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 ( $R^2 = 0.84$ ). Además, no se obtuvo ningún otro resultado significativo con otras las otras variables estudiadas.

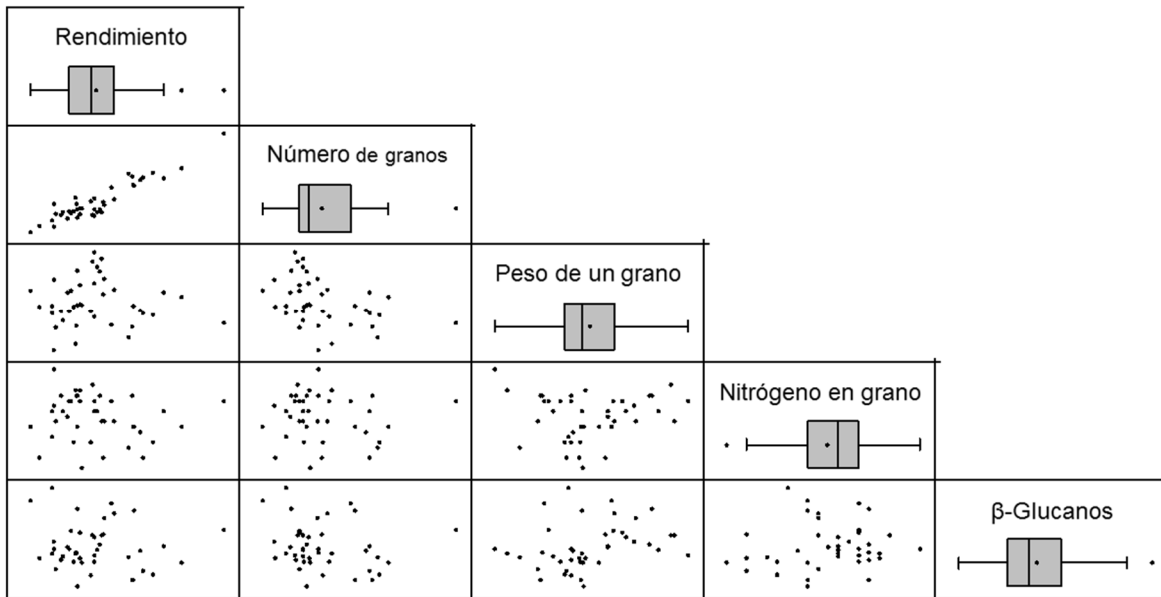
**Tabla 2.** Valores medios de Rendimiento, Número de granos, Peso individual de granos Nitrógeno en granos y contenido de  $\beta$ -glucanos en 7 genotipos de avena cultivados en 2 dosis de N bajo condiciones de temporal en Toluca, México.

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)	-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 Nitrógeno (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.

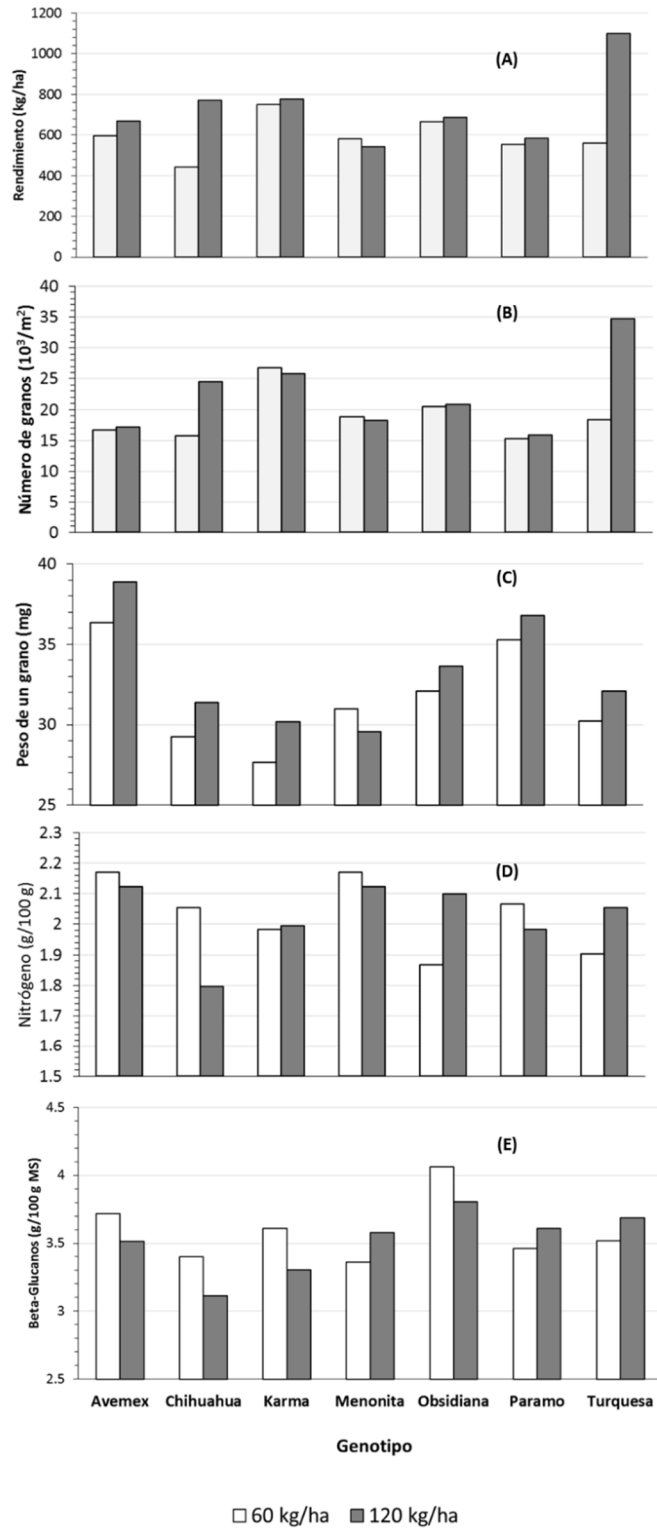
La Figura 4 ilustra este aspecto. De manera general, los resultados mostrados en la Tabla 2 sugieren que, para los genotipos evaluados, el rendimiento de grano se explica mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de los mismos. De acuerdo con estos

resultados, el nitrógeno en el grano, que es la base del cálculo de proteína y la fibra dietética, representada aquí por los  $\beta$ -glucanos, no se ven afectados por la dosis de nitrógeno y sus variaciones dependen esencialmente del genotipo.



**Figura 4.** Correlaciones entre variables relacionadas con el rendimiento y la composición del grano de avena.

Tal como se observa en la Figura 5(A), la respuesta a la dosis de N es 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 es 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, es 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.



**Figura 5.** Interacción Genotipo\*Dosis de nitrógeno en avena.

La no significancia del efecto de la dosis de N sobre la síntesis de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena se explica por la gráfica de la Figura 5(E). En esta gráfica se muestra la interacción genotipo dosis de N para la concentración de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena. Como se puede observar en esta figura, en 4 genotipos (Chihuahua, Avemex, Obsidiana y Karma) la dosis de N provocó una disminución de este componente prebiótico del grano de avena 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 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. 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.

### **6.3. Relación entre macollos y vástago principal**

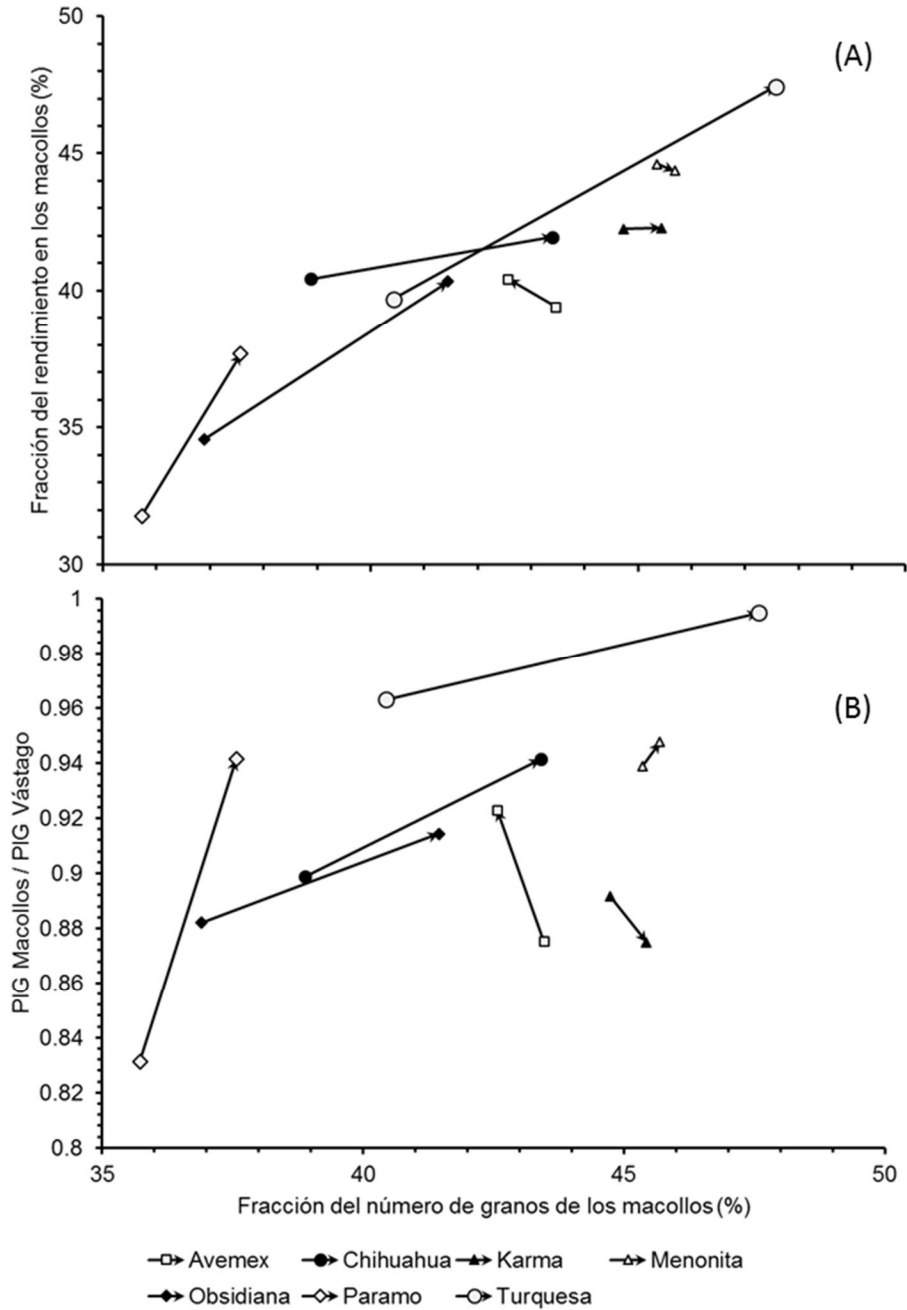
Como se discutió en párrafos anteriores, el rendimiento de avena se explica más por el incremento en el número de granos que por el aumento en el peso individual de los mismos. Pero cuando se estudia la estructura de esta correlación definiendo la cantidad de granos, el peso de los mismos y el rendimiento según su origen en la arquitectura de la planta, entonces la información que se

obtiene puede ser más relevante. En este estudio se cuantificaron estas variables en los macollos y en el vástago principal de las plantas de avena. La Figura 6 muestra la 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 (Figura 6A) y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal (Figura 6B). En esta figura se observa también el efecto de la dosis de N sobre estas relaciones. Como se puede observar, los genotipos Turquesa, Obsidiana, Chihuahua y, en menor medida, Páramo, incrementaron significativamente el número de granos en los macollos con la dosis de nitrógeno, 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. 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, e avenas semi-enanas que los macollos contribuyen con 27% del rendimiento en grano.

Por otra parte, la ordenada de la gráfica de la Figura 6B indica que cuando la relación entre los pesos individuales de vástago y macollos tiende a cero, entonces los granos más pesados se obtienen del vástago principal y, por el contrario, cuando tiende a uno o más, el peso de los granos en los macollos tiende a incrementarse. De acuerdo con esta figura, no se observaron valores de esta relación iguales a uno o superiores, lo que implica que los granos de los macollos resultaron con mayor peso que los del vástago principal. Es notorio cómo el incremento en el rendimiento de Páramo con la dosis de N se explica por el incremento en el peso de los granos provenientes de los macollos, en cambio Karma y Menonita o no respondieron, o al contrario la fertilización

nitrogenada incrementó el peso de los granos del vástago principal. Estos resultados sugieren que el rendimiento de grano en la avena se genera en los macollos y en esta parte de la arquitectura de la planta es donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, el componente genotipo debe ser tomado en cuenta al realizar acciones que promuevan el amacollamiento en esta especie vegetal y 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.





**Figura 6.** 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).

## VII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, el rendimiento de grano aumenta de manera lineal con la dosis de N, aunque cada genotipo responde de manera diferente a este factor. Este parámetro del cultivo se explica mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de los mismos. El rendimiento de grano en la avena se genera en los macollos y en esta parte de la arquitectura de la planta es donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, el componente genotipo debe ser tomado en cuenta al realizar acciones que promuevan el amacollamiento en esta especie vegetal. Dependiendo de los genotipos cultivados, la fertilización nitrogenada incrementa el contenido de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena o por el contrario los disminuye.

## **VIII. AGRADECIMIENTOS**

La autora C. 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 y la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo en recursos humanos e instalaciones.

## XIX. BIBLIOGRAFÍA

1. AGIL, R.; HOSSEINIAN, F. 2012. Dual Functionality of Triticale as a Novel Dietary Source of Prebiotics with Antioxidant Activity in Fermented Dairy Products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67, 88-93.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. CRUZ-VAZQUEZ, C.; ESTRADA-CAMPUZANO G.; MARTÍNEZ-RUEDA C.G.; DOMINGUEZ-LOPEZ A. 2017. Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el contenido de compuestos prebióticos del triticale (x *Triticosecale* sp. Wittmack). Submitted to *Revista de Investigaciones Agropecuarias*.
7. 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.
8. ESPITIA-RANGEL, E.; VILLASEÑOR-MIR, H.E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of  $\beta$ Karmaö Oat. *Crop Science*, 41, 266-266.
9. FAO. 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
10. GÜLER, M. 2003. Barley grain  $\beta$ -glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *Field Crops Research*, 84, 335-340.

11. HOFFMAN, L.A. 1995. World production and use of oats. In: Welch, R.W. (1995). The oat crop. Production and utilization. Chapter 2, p. 34. Springer-Science+Business Media, B.V. USA.
12. 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.
13. 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.
14. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA). 1971. Chihuahua. *Oat Newsletter*, 22, 59-59.
15. LAZARIDOU, A.; BILIADERIS, C.G. 2007. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, 46,101-118.
16. LIM H.S., WHITE, P.J.Y., FREY K.J. 1992. Genotypic effects on  $\beta$ -glucan content of oat lines grown in two consecutive years. *Cereal Chemistry*, 69, 262-265.
17. 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.
18. 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., 85 p.
19. 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.
20. 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.
21. SAASATAMOINEN, M., 1995. Effects of environmental factors on the  $\beta$ -glucan content of two oat varieties. *Acta Agriculturae Scandinavia, Section B, Soil and Plant Science*, 45, 181-187.

22. SALMERÓN-ZAMORA, J.J. 2002. Menonita: Nueva variedad de avena de temporal para grano y forraje. *Agricultura Técnica en México*, 28, 87-88.
23. SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA. 2015. Atlas Agroalimentario 2015. SIAP, México.
24. SUDERMANN, P.D. 1975. Páramo. *Oat Newsletter*, 26, 67-67.
25. 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.
26. 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.
27. VILLASEÑOR-MIR, H.E.; ESPITIA-RANGEL, E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of Cevamex Oat. *Crop Science*, 41, 266-267.
28. WELCH, R.W.; LEGGETT, J.M.; LLOYD, J.D. 1991. Variation in the kernel (1/3)(1/4)-D-glucan content of oat cultivars and wild Avena species and its relationship to other characteristics. *Journal of Cereal Science*, 13, 173-178.
29. WOOD, P.J. 2007. Cereal  $\beta$ -glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science* 46, 230-238.

## **ANEXO I**

## **Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de $\beta$ -glucanos 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 en el grano. Para tal efecto, se sembraron 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 algunos de sus componentes. Los resultados mostraron que en los genotipos Turquesa Paramo y Menonita, la fertilización nitrogenada incrementa el contenido de  $\beta$ -glucanos y en los otros cuatro, por el contrario los disminuye. El rendimiento de grano aumenta con la dosis de N, aunque cada genotipo responde de manera diferente a este factor. Este parámetro del cultivo se explica mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de los mismos. El rendimiento de grano se genera en los macollos y en esta parte de la arquitectura de la planta es donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, el componente genotipo debe ser tomado en cuenta al realizar acciones que promuevan el amacollamiento en esta especie vegetal.

**Palabras clave:** Dosis de Nitrógeno;  $\beta$ -Glucanos; Avena; Fibra Dietética.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario 561 Cerrillo+ Km 15, Carr. Toluca-Ixtlahuaca, Entronque El Cerrillo. Apdo. Postal 435, Toluca 50200, Estado de México, MEXICO. Tel. & Fax: 52 (722) 296 5518. Correo electrónico de A. Dominguez-Lopez: [adominguezl@uaemex.mx](mailto:adominguezl@uaemex.mx)



## 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 and yield. For this purpose, seven commercial varieties, Turquesa, Obsidiana, Karma, Avemex (Cevamex), Chihuahua, Paramo y Menonita were sowing and the fertilization treatments consisted of 60, and 120 kg N·ha<sup>-1</sup>.  $\beta$ -glucans content and yield and some of its components were quantified in harvested grain. Results showed that N dose increases the  $\beta$ -glucans 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. However, the genotype component should be taken into account when performing actions that promote the oat tillering.

**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).

Sobre todo en las zonas urbanas, una alimentación rica en FD, por una ingesta elevada de vegetales, es relativamente escasa. 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 sólo 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 de tiempo más corto.

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 posible, entonces, que la concentración y características de los compuestos prebióticos, como los  $\beta$ -glucanos en el grano, también estén influenciados por estos factores. 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) reportaron 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 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 (Saastamoinen, 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 agronómicos 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, el objetivo de este trabajo fue verificar la existencia de variabilidad genética para el rendimiento y algunos de sus componentes y la concentración de  $\beta$ -glucanos de este cereal y, al mismo tiempo, explicar estas variaciones en función de la fertilización nitrogenada y de la interacción genotipo-dosis de nitrógeno.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del sitio experimental**

El experimento se estableció, bajo temporal, 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°15'33"N, 99°39'38"W, 2640 msnm) en México. El clima de esta localidad se clasifica como semifrío sub-húmedo con lluvias en verano, con un rango anual de precipitación de 800 a 1 300 mm y de temperatura de 8 a 14 °C. Las parcelas se establecieron en una superficie de 400 m<sup>2</sup> de suelo tipo vertisol pélico con textura franco-arcillosa. Análisis preliminares mostraron que el pH del 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. 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>, 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 (3.6 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>. En el primer caso se administró al momento de la siembra y en el segundo fraccionado en 60 unidades a la siembra y 60 unidades 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 el mismo durante el periodo de crecimiento. En cada dosis de N, los siete genotipos 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 (REND, g m<sup>-2</sup>), número de granos por m<sup>2</sup> (NG) y peso individual de grano (PIG, mg grano<sup>-1</sup>) para cada fracción, de tal manera que se obtuvo un valor de REND, NG y PIG de granos provenientes del vástago principal y otro de los macollos.

A cada muestra de grano se le determinó, el contenido de  $\beta$ -glucanos, mediante el kit enzimático K-TDFR adquirido en Megazyme (Megazyme International Ireland Limited) (Hollmann, *et al.*, 2013) y Nitrógeno total mediante el método convencional de la AOAC. Con los datos obtenidos se practicó un análisis de varianza (ANOVA) 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, USA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento de grano y algunos de sus componentes

En la Tabla 1 se reportan las sumas de cuadrados obtenidas a partir del análisis de varianza para el rendimiento, el número de granos por metro cuadrado, el peso individual de grano y el contenido de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos en el grano de avena en función de la fertilización nitrogenada y del genotipo. 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 sólo dependió del genotipo. De la misma manera, la concentración de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos en el grano está más relacionada con el genotipo que con la fertilización.

La variabilidad observada en el rendimiento y en el número de granos se explica 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 sólo explica un porcentaje marginal de 14.6 y 7.97%, respectivamente. En el caso del peso individual de grano, esta variabilidad se explica 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 ésta se explicó principalmente por los diversos genotipos, ya que este factor integró por sí solo 28.5 y 39.8% para el contenido de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos, respectivamente de la suma de cuadrados en el análisis de varianza. 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  $\beta$ -glucanos en el grano.

**Insertar aquí la Tabla 1. Suma de cuadrados del análisis de varianza y su significancia y contribución para algunos componentes del rendimiento de la avena (Tabla 1 Español e Inglés.XLSX).**

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 muestra en la Tabla 2. 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 ( $R^2 = 0.84$ ). Además, no se obtuvo ningún otro resultado significativo con otras las otras variables estudiadas. La Figura 1 ilustra este aspecto. De manera general, los resultados mostrados en la Tabla 2 sugieren que, para los genotipos evaluados, el rendimiento de grano se explica mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de los mismos. 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  $\beta$ -glucanos, no se ven afectados por la dosis de nitrógeno y sus variaciones dependen esencialmente del genotipo.

Insertar aquí la Tabla 2. Valores medios de Rendimiento, Número de granos, Peso individual de granos Nitrógeno en granos y contenido de  $\beta$ -glucanos en 7 genotipos de avena cultivados en 2 dosis de N bajo condiciones de temporal en Toluca, México (Tabla 2 Español e Inglés.XLSX).

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

Tal como se observa en la Figura 2, la respuesta a la dosis de N es 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 es 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, es 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.

Insertar aquí la Figura 2. Interacción Genotipo\*Dosis de nitrógeno en avena.

La no significancia del efecto de la dosis de N sobre la síntesis de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena se explica por la gráfica de la Figura 4(E). En esta gráfica se muestra la interacción genotipo dosis de N para la concentración de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena. Como se puede observar en esta figura, en 4 genotipos (Chihuahua, Avemex, Obsidiana y Karma) la dosis de N provocó una disminución de este componente prebiótico del grano de avena 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 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. 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**

Como se discutió en párrafos anteriores, el rendimiento de avena se explica más por el incremento en el número de granos que por el aumento en el peso individual de los mismos. Pero cuando se estudia la estructura de esta correlación definiendo la cantidad de granos, el peso de los mismos y el rendimiento según su origen en la arquitectura de la planta, entonces la información que se obtiene puede ser más relevante. En este estudio se cuantificaron estas variables en los macollos y en el vástago principal de las plantas de avena. La Figura 3 muestra la 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 (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 se observa también el efecto de la dosis de N sobre estas relaciones. Como se puede observar, los genotipos Turquesa, Obsidiana, Chihuahua y, en menor medida, Páramo, incrementaron significativamente el número de granos en los macollos con la dosis de nitrógeno, 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. 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 semi-enanas que los macollos contribuyen con 27% del rendimiento en grano.

Por otra parte, la ordenada de la gráfica de la Figura 3B indica que cuando la relación entre los pesos individuales de vástago y macollos tiende a cero, entonces los granos más pesados se



obtienen del vástago principal y, por el contrario, cuando tiende a uno o más, el peso de los granos en los macollos tiende a incrementarse. De acuerdo con esta figura, no se observaron valores de esta relación iguales a uno o superiores, lo que implica que los granos de los macollos resultaron con mayor peso que los del vástago principal. Es notorio cómo el incremento en el rendimiento de Páramo con la dosis de N se explica por el incremento en el peso de los granos provenientes de los macollos, en cambio Karma y Menonita o no respondieron, o al contrario la fertilización nitrogenada incrementó el peso de los granos del vástago principal. Estos resultados sugieren que el rendimiento de grano en la avena se genera en los macollos y en esta parte de la arquitectura de la planta es donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, el componente genotipo debe ser tomado en cuenta al realizar acciones que promuevan el amacollamiento en esta especie vegetal y 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.

Insertar aquí la 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).

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, el rendimiento de grano aumenta de manera lineal con la dosis de N, aunque cada genotipo responde de manera diferente a este factor. Este parámetro del cultivo se explica mejor por el número de granos obtenido por superficie que por el peso individual de los mismos. El rendimiento de grano en la avena se genera en los macollos y en esta parte de la arquitectura de la planta es donde se concentra el efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, el componente genotipo debe ser tomado en cuenta al realizar acciones que promuevan el amacollamiento en esta especie vegetal. Dependiendo de los genotipos cultivados, la fertilización nitrogenada incrementa el contenido de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena o por el contrario los disminuye.

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora C. 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.

## REFERENCIAS

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. ESPITIA-RANGEL, E.; VILLASEÑOR-MIR, H.E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of Karma+Oat. *Crop Science*, 41, 266-266.
7. FAO. 2017. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
8. GÜLER, M. 2003. Barley grain  $\beta$ -glucan content as affected by nitrogen and irrigation. *Field Crops Research*, 84, 335-340.
9. HOFFMAN, L.A. 1995. World production and use of oats. In: Welch, R.W. (1995). *The oat crop. Production and utilization*. Chapter 2, p. 34. Springer-Science+Business Media, B.V. USA.
10. 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.
11. 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.

12. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS (INIA). 1971. Chihuahua. Oat Newsletter, 22, 59-59.
13. 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.
14. 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.
15. 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., 85 p.
16. 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.
17. 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.
18. SAASATAMOINEN, M., 1995. Effects of environmental factors on the b-glucan content of two oat varieties. Acta Agriculturae Scandinavia, Section B, Soil and Plant Science, 45, 181-187.
19. SALMERÓN-ZAMORA, J.J. 2002. Menonita: Nueva variedad de avena de temporal para grano y forraje. Agricultura Técnica en México, 28, 87-88.
20. SUDERMANN, P.D. 1975. Páramo. Oat Newsletter, 26, 67-67.
21. 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.
22. 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.
23. VILLASEÑOR-MIR, H.E.; ESPITIA-RANGEL, E.; MÁRQUEZ-GUTIÉRREZ, C. 2001. Registration of %Cevamex+Oat. Crop Science, 41, 266-267.
24. WELCH, R.W.; LEGGETT, J.M.; LLOYD, J.D. 1991. Variation in the kernel (1/3)(1/4)-D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. Journal of Cereal Science, 13, 173-178.

## TABLAS Y FIGURAS

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

Fuente	GL	Rendimiento	Número de granos	Peso individual de granos	Nitrógeno en grano	-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** (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** (26.1)	664.85** (38.5)	378.21** (63.8)	0.269 <sup>*</sup> (28.5)	1.538** (39.8)
A*B	6	406051** (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 2.** Valores medios de Rendimiento, Número de granos, Peso individual de granos Nitrógeno en granos y contenido de -glucanos en 7 genotipos de avena cultivados en 2 dosis de N bajo condiciones de temporal en Toluca, México.

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)	-Glucanos (g/100 g MS)
<b>Genotipo</b>	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 Nitrógeno (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.

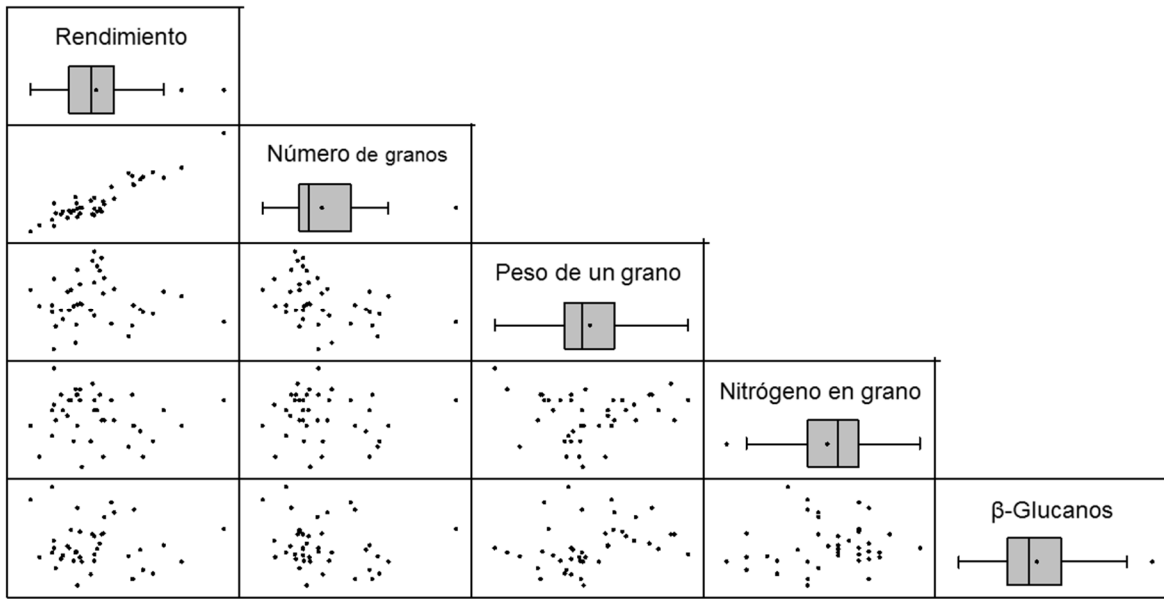


Figura 1. Correlaciones entre variables relacionadas con el rendimiento y la composición del grano de avena.

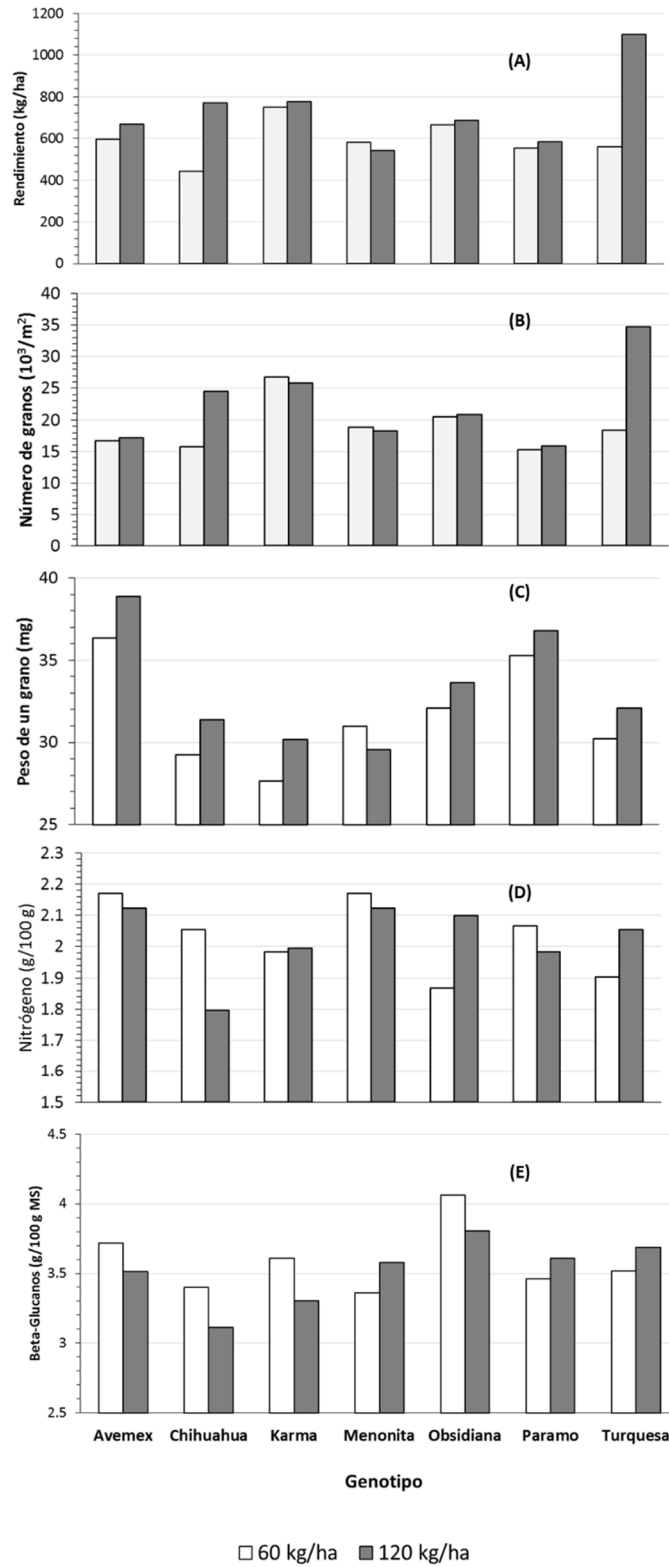


Figura 2. Interacción Genotipo\*Dosis de nitrógeno en avena.

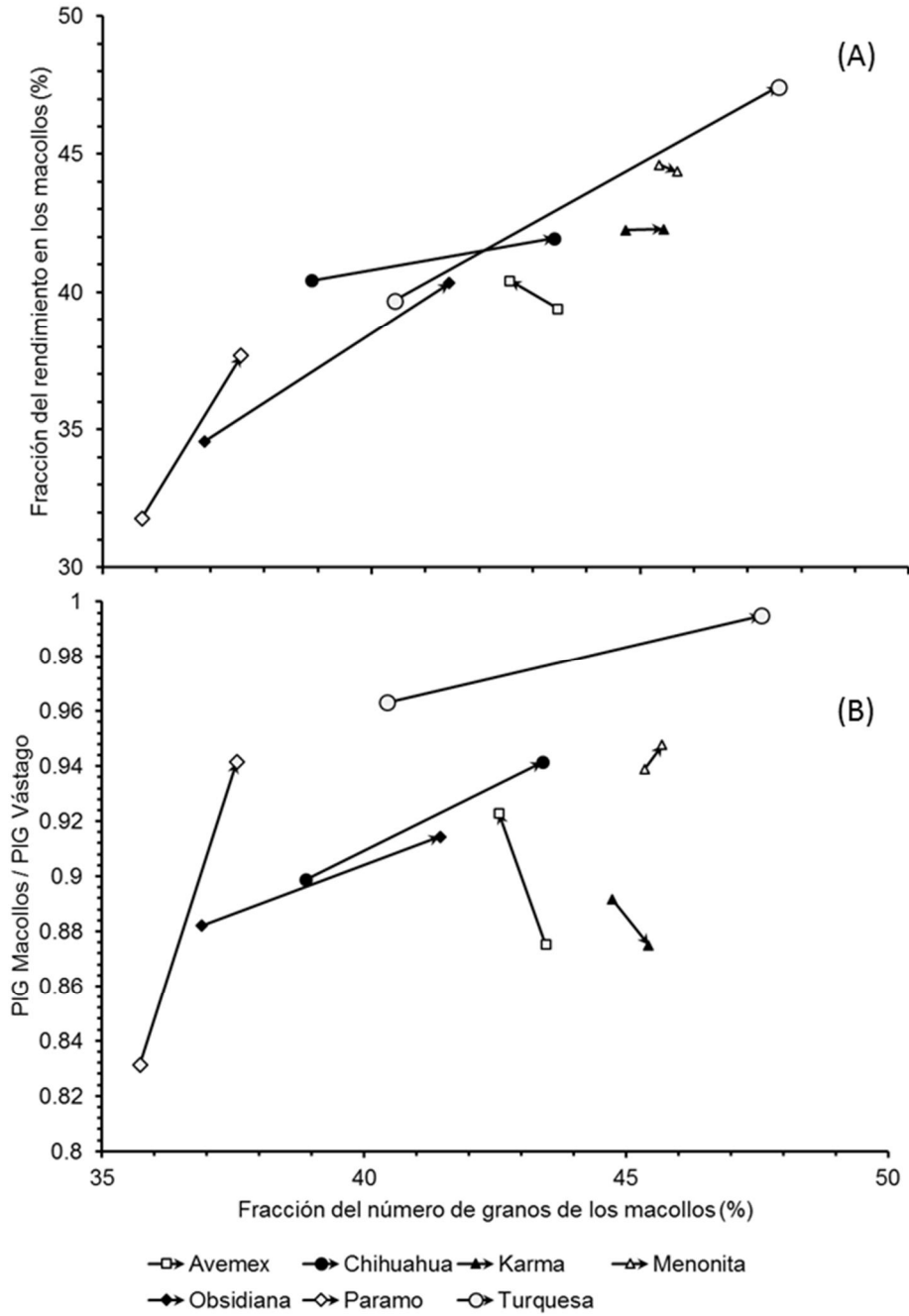


Figura 3. Fracción del total de granos obtenidos (por metro cuadrado) correspondiente a los macollos contra la fracción del rendimiento en grano, propia de esta estructura de la planta (A) y contra la relación entre el peso del grano proveniente de los macollos y el peso de grano del vástago principal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

\*

# ANEXO II

**RIA** REVISTA DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ISSN en línea 1669-2314 ISSN impreso 0325-8718

**INTA** Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación

[Inicio](#) [Acerca de...](#) [Home del usuario](#) [Buscar](#) [Actual](#) [Colección](#) [english version](#)

[Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos > #10952 > Resumen](#)

## #10952 Resumen

 **Resumen**  **Revisión**  **Editar**

### Envío

Autores	<a href="#">Alemí Viridiana Hernández-Campuzano</a> , Gaspar Estrada-Campuzano, Carlos Gustavo Martínez-Rueda, Aurelio Domínguez-López
Título	Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de $\beta$ -glucanos de la avena ( <i>Avena sativa</i> L.)
Archivo original	10952-54273-1-SM.DOCX 2017-06-07
Arch. compl.	10952-54274-1-SPTIF 2017-06-07 10952-54275-1-SPTIF 2017-06-07 10952-54276-1-SPTIF 2017-06-07 10952-54277-1-SP.XLSX 2017-06-07 10952-54278-1-SP.XLSX 2017-06-07
Remitente	Dr. Aurelio Domínguez-López 
Fecha de envío	junio 7, 2017 - 09:54

[AÑADIR ARCHIVO COMPLEMENTARIO](#)

Esta revista cuenta con el apoyo editorial del **CAICYT** **CONICET**

**USUARIO/A**

Su identificación actual es... **aureliodominguez**

- Mis revistas
- Mi perfil
- Salir

**AUTOR/A**

Envíos

- Activos (3)
- Archivo (0)
- Nuevo envío

**IDIOMA**

Español ▾