



Fertilización química y orgánica en avena: rendimiento y calidad de la semilla¹

Chemical and organic fertilization in oats: seed yield and quality

Sergio A. Rodríguez-Herrera², Oscar Salgado-Ramírez³, J. Guadalupe García-Rodríguez⁴, Francisco Cervantes-Ortiz⁴, María Guadalupe Figueroa-Rivera⁴, Mariano Mendoza-Elos⁴

¹ Recepción: 2 de octubre, 2019. Aceptación: 24 de marzo, 2020. Este trabajo formó parte de la tesis de la Maestría en Producción y Tecnología de Semillas del segundo autor, Tecnológico Nacional de México, campus Roque, México.

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Domicilio conocido, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. serroh90@live.com.mx; <https://orcid.org/0000-0002-3093-6438>.

³ Instituto Tecnológico de Roque, Estudiante de la Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas, Km. 8 Carr. Celaya-Juventino Rosas, Roque, Celaya, Guanajuato, México. oscar-df-61@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9894-4143>.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Roque, Km. 8 Carr. Celaya-Juventino Rosas, Roque, Celaya, Guanajuato, México. CP 38110. garcia_2956@yahoo.com.mx (<https://orcid.org/0000-0003-2974-3652>), frcervantes@itroque.edu.mx (<https://orcid.org/0000-0003-2419-5896>), anthonomu@yahoo.com.mx (<https://orcid.org/0000-0002-1841-2279>), mmendoza66@hotmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-8862-5819>).

Resumen

Introducción. La avena (*Avena sativa* L.) tiene su origen en Asia Central y es un cultivo importante en México, donde se tienen rendimientos altos de grano, además de ser una alternativa para productores que siembran en temporal. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento y calidad fisiológica de la semilla de tres variedades de avena, durante dos ciclos agrícolas (años). **Materiales y métodos.** El experimento se estableció durante el ciclo otoño-invierno en el Tecnológico Nacional de México campus Roque, Guanajuato, México. Se establecieron dos fechas de siembra en 2015 y el 2016, considerados como factor A. Las variedades del experimento fueron Turquesa, Diamante y Chihuahua, asignados como factor B y cinco fertilizaciones a base de lombricomposta y nutrición química como factor C, sembradas en tres repeticiones. Se midieron variables de calidad fisiológica de la semilla y componentes de rendimiento de semilla. Las características se analizaron en un diseño bloques completos al azar con arreglo factorial y una prueba de comparación de medias de Tukey 0.05. **Resultados.** El efecto ambiental influyó en la calidad de semilla, caracteres agronómicos y de rendimiento de grano. En el ciclo 2016/17 se presentó un 14,41 % más de rendimiento de semilla, en relación con el ciclo 2015/16. Las tres variedades de avena mantuvieron un mismo patrón de comportamiento, estadísticamente igual para germinación, días a embuche (aparición del nudo floral en el tallo), días a floración, número de semillas por espiga, peso de 1000 semillas y rendimiento de semilla. El rendimiento de avena y otros caracteres de calidad fisiológica fueron similares con lombricomposta (6,38 t ha⁻¹) y fertilización química (6,46 t ha⁻¹). **Conclusión.** Se encontró una respuesta similar en el rendimiento, peso de 1000 semillas y calidad fisiológica de la semilla, con ambos tipos de fertilización.

Palabras claves: nutrición, lombricomposta, componente fisiológico, producción.



Abstract

Introduction. Oatmeal (*Avena sativa* L.) has its origin in Central Asia and is an important crop in Mexico, where there are high grain yields, besides as being an alternative for producers who sow in temporary. **Objective.** To evaluate the effect of chemical and organic fertilization on the yield and physiological quality of the seed of three oats varieties, during two agricultural cycles (years). **Materials and methods.** The experiment was established during the autumn-winter cycle at the Tecnológico Nacional de México campus Roque, Guanajuato, Mexico. Two sowing dates were established in 2015 and 2016, considered as factor A. The varieties of the experiment were Turquoise, Diamond, and Chihuahua, assigned as factor B and five fertilizations based on vermicompost and chemical nutrition as factor C, sowed in three replications. Seed physiological quality variables and seed yield components were measured. Characteristics were analyzed in a randomized complete block design with factorial arrangement and a Tukey 0.05 mean comparison test. **Results.** The environmental effect influenced the seed quality, agronomic characteristics, and grain yield. In the 2016/17 cycle there was a 14.41 % increase in seed yield compared to the 2015/16 cycle. The three oats varieties maintained the same behavior pattern, statistically the same for germination, days to seedling (appearance of the flower knot on the stem), days to flowering, number of seeds per spike, weight of 1000 seeds and seed yield. Oat yield and other physiological quality characters were similar with vermicompost (6.38 t ha⁻¹) and chemical fertilization (6.46 t ha⁻¹). **Conclusion.** A similar response was found in yield, weight of 1000 seeds, and physiological seed quality, with both types of fertilization.

Keywords: nutrition, vermicompost, physiological component, production.

Introducción

La FAO anunció que la reserva mundial de cereales en 2019 se ha reducido a 766,5 millones de toneladas. De confirmarse estas previsiones, la razón entre los remanentes mundiales de cereales y la utilización disminuiría de un 30,5 % en 2017/18 a un 28,3 % en 2018/19, lo cual, con todo, sigue siendo un nivel relativamente elevado (FAO, 2019).

El cultivo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) destaca en México como una fuente importante de alimento para la industria pecuaria, en el año agrícola 2017 representó el 93,5 % de la superficie cosechada para el consumo como forraje verde (SIAP, 2018). Para el 2018, la superficie sembrada de avena en el país fue de 655 585 ha para forraje y 52 492 ha para grano (SIAP, 2019). En la avena forrajera se aprovecha toda la planta, se emplea principalmente en la alimentación del ganado, en pastoreo, como heno o ensilado; se usa sola o en combinación con leguminosas forrajeras. La paja de avena está considerada como una de las principales opciones para la alimentación en el sector ganadero. Como forraje, la avena tiene alta digestibilidad, proporciona alta cantidad de energía metabolizable y su fibra presenta mejores cualidades que otros cereales; mientras que el grano, entre sus cualidades, presenta alta cantidad y calidad de proteínas, carbohidratos, minerales, grasas y contenido de vitamina B. La avena es una excelente opción para la reconversión productiva de las tierras de productividad baja con aptitud pecuaria en las regiones en las que la estación de crecimiento y producción es corta (Leyva-Mir et al., 2018).

En la actualidad, existe interés por encontrar alternativas de fertilización orgánica a través del uso de vermicomposta, dicho abono ha demostrado mejoramiento del suelo y disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de los cultivos (Márquez-Hernández et al., 2013; Martínez-Blanco et al., 2013). El compuesto líquido que se obtiene del proceso de vermicompostaje se conoce como humus de lombriz y es considerado como fertilizante líquido orgánico (Fortis-Hernández et al., 2009). Aunque hay muchos resultados sobre su uso, existe la contraparte

sobre los fertilizantes químicos, y es que el rendimiento de un cultivo no aumenta proporcionalmente con la cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo, sino a partir de una determinada concentración (López-Mtz et al., 2001).

Entre la lombriz de tierra geófaga y la microflora se establece una interacción mutualista de tipo anisimbiótica para descomponer el material orgánico ingerido por el invertebrado (Daqui et al., 2007). Aunque se han descrito más de 8000 especies de lombrices de tierra, de la mayoría solo se conoce el nombre y su morfología, debido a que la información sobre su biología y ecología es escasa (Domínguez et al., 2009). Los efectos causados por las lombrices pueden catalogarse en dos diferentes escalas: temporal y espacial. En un intervalo corto de tiempo (horas), la digestión de la lombriz rompe los residuos orgánicos y libera algunos nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) que pueden ser asimilados por las plantas (Lavelle, 1997).

Los ácidos húmicos y fúlvicos generados del proceso de lombricomposta regeneran las características químicas del suelo y, al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento, favorecen el desarrollo de las especies vegetales, posee un pH neutro, mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y agrega suelos arenosos. Durante el trasplante previene enfermedades y evita el choque por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. Amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo y aumenta la retención hídrica de los suelos (4-27 %), disminuyendo el consumo de agua por los cultivos. Su elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) se debe a la presencia de grupos carbonilos e hidroxilos fenólicos y alcohólicos, entre otros, en su estructura (Pereira y Zezzi-Arruda, 2004).

Las vermicompostas, comparadas con sus materiales originales, tienen reducidas cantidades de sales solubles, mayor CIC y un creciente contenido de ácidos húmicos totales. También contienen sustancias biológicamente activas tales como reguladores de crecimiento vegetal, que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos (Atiyeh et al., 2000a). Por lo tanto, sus propiedades fisicoquímicas y biológicas parecen ser de mejor calidad para el crecimiento de las plantas que las propiedades de los materiales que dan origen a la vermicomposta (Atiyeh et al., 2000b; Gajalakshmi et al., 2001).

La vermicomposta generada a partir de estiércol de ganado vacuno, estimuló el crecimiento de las plantas de tomate y lechuga en comparación con el estiércol; esto sugiere que las lombrices incrementaron la maduración de los residuos orgánicos. Por lo tanto, el incremento en el crecimiento de la planta podría ser debido a las características fisicoquímicas más favorables de los residuos procesados y el más alto contenido de $N-NO_3^-$, una forma de nitrógeno que es fácilmente disponible para la asimilación de las plantas (Atiyeh et al., 2000b).

Los estudios con vermicompostas (VC) han demostrado consistentemente que los residuos orgánicos vermicomposteados tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de la planta independientemente de las transformaciones y la disponibilidad de los elementos nutritivos. Cuando las VC se han utilizado como mejoradores del suelo o como fertilizante orgánico hortícola, estas han mejorado consistentemente la germinación de las semillas, el incremento en el crecimiento y desarrollo de las plántulas, y una creciente productividad de la planta, mucho más de la que pudiera ser posible de la mera conversión de los elementos minerales en formas más accesibles para la planta (Atiyeh et al., 2002). En correspondencia a lo anterior, Atiyeh et al. (2002) señalaron que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se ha presentado cuando las vermicompostas constituyen una proporción relativamente pequeña (10 - 40 %) del volumen total del medio de crecimiento de la planta dentro de los cuales estos materiales son incorporados.

Como resultado de la aplicación de VC y la inoculación con el hongo endomicorrízico arbuscular *Glomus intraradix* y la bacteria *Azospirillum brasilense* sobre la producción de tomate de cáscara, Velasco-Velasco et al. (2003) concluyeron que la adición de VC, sola o combinada con *G. intraradix*, *A. brasilense*, mostró efecto positivo sobre la tasa fotosintética, acumulación de materia seca y rendimiento de tomate de cáscara.

Actualmente, la agricultura orgánica en el mundo ha dado resultados positivos y amigables con el ambiente, por lo que su uso debe generalizarse a la mayoría de los cultivos de importancia económica. Al respecto, un estudio de fertilización orgánica en producción de semilla de *Egathysus maximus* mostró rendimientos de semilla similares

con 9 t de humus (lombricomposta) y fertilización con NPK; sin embargo, la ganancia por concepto de venta de semillas y la ganancia por hectárea fueron superiores en el tratamiento con 9 t de humus, lo que propició un menor costo de producción (10,30 vs. 16,50 pesos kg⁻¹ de semilla para humus y NPK, respectivamente) (Ramírez et al., 2015). Según la misma investigación, es factible, desde el punto de vista productivo y económico, el uso de abonos orgánicos en los sistemas de producción de semillas de guinea. Los componentes de rendimiento parecen ser en gran parte independientes de una fuerte competencia por asimilados y hay una relación negativa entre el número de semillas y el peso promedio de las semillas (Miralles et al., 2000). En este sentido, la plasticidad del número de semillas en relación con la disponibilidad de recursos se analiza contra la relación establecida entre el número de descendientes y la tasa de crecimiento de los padres durante las etapas críticas (Sandras, 2007). La noción de que el tamaño de la semilla esté bajo selección se analiza en tres condiciones: (1) mantener un tamaño medio de la semilla porque es la que más se comercializa en una determinada especie y entorno, (2) el tamaño de la semilla afecta la aptitud física y (3) el tamaño de la semilla es heredable. En este mismo sentido, Bar-Tal et al. (2004) mencionaron que la incorporación de composta tiene un efecto positivo en los cultivos solo cuando se realizan aplicaciones adicionales de N o cuando se realizan aplicaciones frecuentes durante varios años (después del segundo año).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento y calidad fisiológica de la semilla, en tres variedades de avena, durante dos ciclos agrícolas (años).

Materiales y métodos

El experimento se realizó durante el ciclo otoño–invierno en dos años consecutivos (2015/16 y 2016/17), en el Tecnológico Nacional de México campus Roque, ubicado en el km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, Roque, Celaya, Guanajuato, México. Las coordenadas geográficas son 20° 32' latitud norte y 100° 45' longitud oeste, a una altitud de 1762 msnm, el clima es clasificado como BS₁ HW (e) el cual corresponde a subtropical semicálido con temperaturas que van de 18 a 22 °C, la temperatura media anual es de 21,6 °C y la precipitación pluvial promedio anual de 670,3 mm (INEGI, 2009). Los suelos que predomina en el municipio son vertisoles pélicos y crómicos, también se encuentran suelos del tipo Feozem, tanto háplico como calcáreo (Medina y Arévalo, 2000).

En el estudio se evaluaron tres factores, el factor A fueron los años de siembra o ciclos agrícolas, como factor B se evaluaron tres variedades de avena (*Avena sativa* L.): Turquesa, Diamante y Chihuahua, y cinco combinaciones de fertilización fueron el factor C: químico 100 %, químico 75 % + orgánico 25 %, químico 50 % + orgánico 50 %, químico 25 % + orgánico 75 % y 100 % orgánico. La parcela experimental consistió de tres surcos, cada una de ellas de 5 m de largo y una distancia entre ellas de 75 cm.

Descripción del material genético

Variedad Turquesa. Es de hábito de primavera (se puede sembrar en marzo-abril). Variedad de ciclo vegetativo intermedio (105 días a madurez fisiológica), con porte medio, tolerante al acame, plantas de color verde oscuro de anthesis a grano lechoso, panícula con alta densidad de granos, grano de tamaño mediano y alta relación grano-paja (Villaseñor et al., 2009).

Variedad Diamante (R-31 INIFAP). En el año 1975 este cultivar fue liberado por el INIA. Los progenitores que intervinieron son 1955-39-2C/ Impala/ENA. Variedad de ciclo precoz de uso para grano, presenta de 49-51 días de floración y de 85 a 90 días a madurez. Es la variedad que ha permanecido por un periodo más largo, mostrando resistencia a la roya del tallo (Salmerón y Dyck, 1993).

Variedad Chihuahua. Esta variedad presenta cualidades forrajeras y mide entre 90 a 110 cm, pero bajo riego puede llegar a medir 135 cm. El grano es grande, vistoso y con cáscara de color blanco. Se adapta bien bajo riego

y temporal. Su floración ocurre entre los 55 y 60 días y alcanza su madurez entre 95 y 110 días (1200 unidades de calor). No es resistente a la roya de la corona (Salmerón et al., 2003).

Metodología

La semilla utilizada en el estudio provino del campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cosechada el ciclo anterior al establecimiento del experimento, por lo cual presentaba excelente vigor y germinación. La siembra para las tres variedades se realizó el 29 de diciembre en 2015 y el 21 de diciembre en 2016, se realizó de forma manual, depositando la semilla a chorrillo a una densidad de siembra de 80 k ha⁻¹, posteriormente se cubrieron con el azadón. Se aplicó riego inmediatamente después de la siembra, en la etapa de amacollamiento (generación de hijuelos, 45 días después de la siembra: DDS) y llenado de grano (75 DDS). El control de la maleza se realizó de manera manual. La cosecha se efectuó de forma manual, se colectaron las espigas de 3 m de la parcela útil y posteriormente, se depositaron en bolsas de papel. Se realizó su limpieza de manera manual, con un ventilador y un tamiz (criba). La fórmula de fertilización química que se aplicó fue 40-46-00, como complemento a todos los tratamientos. Se utilizó superfosfato triple 18-46-00 y urea para completar la dosis recomendada. Los tratamientos de fertilización orgánica en su conversión de la parcela útil a una hectárea fueron a razón de 500 k ha⁻¹ con las siguientes características descritas en el Cuadro 1.

El diseño o arreglo de tratamientos de la fertilización química, orgánica y combinación entre ellos se describen en la Cuadro 2.

Variables evaluadas

El cálculo del porcentaje de emergencia se realizó a los cinco días después del primer riego, para ello se contaron las plántulas emergidas en 1 m de la parcela útil de cada unidad experimental. Los días a embuche se obtuvieron al contabilizar los días desde la siembra a la aparición del nudo floral en el tallo. Los días a espigamiento, se contaron a partir del día de la siembra hasta que aproximadamente el 50 % de las espigas estaban expuestas, se tomaron diez plantas de muestra por parcela útil para promediar el valor de cada unidad experimental. El número de semillas por espiga se extrajo de promediar el conteo de las semillas de diez espigas por parcela útil. Para obtener el peso de mil semillas se pesaron diez repeticiones de cien semillas cada una. El rendimiento de semilla por hectárea, se calculó al pesar el total de semillas obtenidas de 1 m de la parcela útil (0,75 m²), el resultado se multiplicó por los metros cuadrados de una hectárea, el resultado se expresa en t ha⁻¹. La germinación estándar se extrajo de 150 semillas al azar en tres repeticiones de cincuenta semillas, se usó el método entre papel, a una temperatura de 20 °C ± 1 °C durante ocho días. La longitud de plúmula, se calculó utilizando 75 semillas, tres repeticiones de 25 cada una (Moreno, 1996).

El análisis estadístico fue un bloque completo al azar con arreglo factorial 2x3x5, Factor A, dos años de siembra, factor B, tres variedades y factor C, cinco fertilizaciones con tres repeticiones. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (ver. 9.0). Se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey (p≤0,05).

Resultados

Para la fuente de variación años, en el ciclo agrícola 2016/17 se presentó el mejor resultado para porcentaje de emergencia, con un valor de 95,84 %, superó con una diferencia de 9,69 % al ciclo 2015/16. Se determinó un comportamiento similar para longitud de plúmula y germinación, no obstante, esta última variable fue estadísticamente similar en los dos años de cultivo. Los años o los ciclos agrícolas presentaron diferentes

Cuadro 1. Características y contenidos de macronutrientes y micronutrientes de la lombricomposta utilizada en el experimento (Laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)), 2015.

Table 1. Characteristics and contents of macronutrients and micronutrients of the Vermicompost used in the experiment (INIFAP Soil Laboratory, 2015).

Nutrientes	Unidad	Contenido
Nitrógeno total	%	0,78
Fósforo total (como P ₂ O ₅)	%	0,84
Potasio (como K ₂ O)	%	1,27
Relación C/N		11,62
Calcio	%	1,20
Magnesio	%	0,47
Azufre	%	0,21
Hierro	ppm	5944
Cobre	ppm	22,60
Manganeso	ppm	1460
Zinc	ppm	51,40
Materia orgánica	%	16,50
Humedad	%	50,62
Cenizas	%	32,88
pH		8,26
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	9,116
Calcio soluble	meq l ⁻¹	20,52 (411,22 ppm)
Magnesio soluble	meq l ⁻¹	25,63 (311,66 ppm)
Sodio soluble	meq l ⁻¹	7,60 (174,80 ppm)
Potasio soluble	meq l ⁻¹	11,85 (462,16 ppm)
Carbonatos solubles	meq l ⁻¹	0,64 (19,2 ppm)
Bicarbonatos solubles	meq l ⁻¹	4,13 (251,97 ppm)
Cloruros solubles	meq l ⁻¹	8,48 (300,64 ppm)
Sulfatos solubles	meq l ⁻¹	7,91 (3742,01 ppm)

Fuente: análisis de fertilizantes. Laboratorio nacional de fertilidad de suelos y nutrición vegetal (INIFAP, 2015), Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria / Source: fertilizer analysis. National Laboratory of Soil Fertility and Plant Nutrition (INIFAP, 2015), National Institute of Forest, Agricultural and Livestock Research.

Cuadro 2. Cantidad y porcentaje de la fertilización química-orgánica empleada por unidad experimental, para evaluar el rendimiento y calidad de la semilla en avena (*Avena sativa* L.), Guanajuato, México. 2015-2016.

Table 2. Amount and percentage of chemical-organic fertilization used per experimental unit, to evaluate the yield and quality of the seed in oats (*Avena sativa* L.), Guanajuato, Mexico. 2015-2016.

Tratamiento	Fertilización química		Fertilización orgánica	
	%	g	%	g
1	100	168,75	0	0
2	75	126,77	25	140,75
3	50	84,50	50	281,50
4	25	42,24	75	422,25
5	0	0	100	563

características climáticas durante el ciclo del cultivo, ellas influyeron en el comportamiento de los genotipos. Con respecto a las variedades, la Chihuahua presentó emergencia alta (94,97 %) con relación a Diamante y Turquesa, estas últimas se situaron en el mismo grupo estadístico, del mismo modo fue el patrón para la longitud de plúmula. Un efecto estadístico similar se encontró en las tres variedades para la variable germinación, esta alcanzó los estándares del SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, México), que reglamenta una germinación superior a 85 %.

El tipo y combinación de la fertilización no mostró efecto sobre la longitud de plúmula, donde los valores variaron de 9,01 a 10,09 cm cuando se combinó el 50 y 50 % de fertilización química-orgánica y química, respectivamente. Estadísticamente, la fertilización química fue superior al resto de los tratamientos en días a emergencia y porcentaje de germinación. Entre la fertilización química 100 % y la fertilización orgánica 100 %, se observó una diferencia de 3,64 %, 0,221 cm y 1,78 %, para emergencia, plúmula y germinación a favor de la fertilización química, valores no trascendentes en la calidad fisiológica de la semilla (Cuadro 3). Estos valores impactan en los costos de producción y contaminación química al suelo y al ambiente.

Los promedios de altura de planta (80 y 78 cm), días a embuche (aparición del nudo floral) (45 y 45 días) y días a espigamiento (69 y 67 días) se muestran en el Cuadro 4, donde se observa que el factor fecha de siembra para estas variables fueron estadísticamente iguales, es decir, el efecto clima y suelo no afectaron el comportamiento de estas características agronómicas, en contraste, a las variables de calidad de semilla, días a emergencia y longitud de plúmula que sí resultaron diferentes estadísticamente por los años de siembra.

Cuadro 3. Promedios de días a emergencia, longitud de plúmula y germinación en tres variedades de avena (*Avena sativa* L.) con fertilización química y orgánica en 2015-2017 en Roque, Celaya, Guanajuato, México.

Table 3. Emergency days averages, length of plumule, and germination in three varieties of oats (*Avena sativa* L.) with chemical and organic fertilization in 2015-2017 in Roque, Celaya, Guanajuato, Mexico.

Fuentes de variación	Emergencia días (%)	Longitud de plúmula (cm)	Germinación (%)
Años			
O-I / 2016/17	95,84 a	10,93 a	88,84 a
O-I / 2015/16	86,15 b	8,45 b	87,28 a
DSH	3,22	0,74	0,84
Variedad			
Chihuahua	94,97 a	10,60 a	88,73 a
Diamante	89,54 b	9,63 ab	88,06 a
Turquesa	88,48 b	8,84 b	87,40 a
DSH	4,74	1,09	1,24
Fertilización			
Químico 100 %	97,43 a	10,09 a	90,66 a
Orgánico 100 %	93,79 ab	9,87 a	88,88 ab
Químico 75 % - orgánico 25 %	93,05 ab	9,78 a	87,76 ab
Orgánico 75 % - químico 25 %	87,36 bc	9,72 a	86,88 ab
Químico 50 % - orgánico 50 %	83,36 c	9,01 a	86,10 b
DSH	7,17	1,65	3,81

Letras semejantes son estadísticamente iguales, DSH: diferencia significativa honesta / Similar letters are statistically equal, DSH: honest significant difference.

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias para la variable altura de planta, días a embuche y espigamiento a través de años, variedad y fertilización en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) en Celaya, Guanajuato, México. 2015-2017.

Table 4. Comparison test of means for the variable height of the plant, days to seedling, and spike through years, variety, and fertilization in the oat (*Avena sativa* L.) crop in Celaya, Guanajuato, Mexico. 2015-2017.

Fuentes de variación	Altura de planta (cm)	Días a Embuche	Días a espigamiento
Años			
O-I / 2016/17	79,99 a	45,42 a	69,04 a
O-I / 2015/16	78,28 a	45,38 a	66,82 a
DSH	1,8532	1,2965	0,7149
Variedad			
Chihuahua	86,71 a	45,47 a	69,63 a
Diamante	80,11 b	45,41 a	68,70 a
Turquesa	76,59 b	44,33 a	65,47 a
DHS	2,7277	1,9084	1,0522
Fertilización			
Químico 100 %	79,73 a	46,33 a	68,33 a
Orgánico 100 %	79,61 a	46,06 a	68,28 a
Químico 75 % - orgánico 25 %	79,39 a	45,83 a	67,78 a
Orgánico 75 % - químico 25 %	78,58 a	44,89 a	67,67 a
Químico 50 % - orgánico 50 %	78,37 a	43,89 a	67,61 a
DHS	7,1711	2,8844	1,5903

Letras semejantes son estadísticamente iguales, DSH: diferencia significativa honesta Tukey ($p \leq 0,05$) / Similar letters are statistically equal, DSH: Tukey honest significant difference ($p \leq 0,05$).

Para días a embuche y a espigamiento, las tres variedades mostraron valores estadísticamente iguales. Los resultados variaron de 44,33 a 45,46 para días a embuche y de 65,47 a 69,63 para días a espigamiento. Con respecto a la fertilización química, orgánica y combinaciones, no existió diferencias estadísticas en altura de planta, días a embuche y a espigamiento, este resultado cobra importancia considerando los altos costos de los fertilizantes químicos, aunado a ello, aumenta la contaminación del suelo y del ambiente, ya que muchos minerales se volatilizan y se lixivian. La fertilización con lombricomposta es una alternativa para la producción de avena, ya que se logra obtener un producto libre de pesticidas que puede aumentar la calidad de la semilla y de grano.

Los resultados de las variables número de semillas por espiga, peso de 1000 semillas y rendimiento de semilla por hectárea se presentan en la Cuadro 5, donde se observa que en el ciclo de siembra 2016/17 el número de semillas por espiga fue más alto, con un valor promedio de 58,99 que equivale a 11,73 % más que el ciclo 2015/16, en esta cosecha se observó semillas vanas, debido a la falta de agua en el llenado. Las dos características señaladas anteriormente (espigas por m^2 , número de semillas por espiga y peso de mil semillas) son consideradas los componentes más importantes del rendimiento (Montaño-Carrasco et al., 2017), además, existe una correlación positiva entre ellas. A medida que se incrementa el número de semillas por espiga y peso de semilla se tiene un impacto positivo en el aumento en el rendimiento (Bobadilla et al., 2013). Se muestra también que de un ciclo a otro existió una diferencia de $986,6 \text{ kg ha}^{-1}$, fue superior la producción de semilla en el año 2016/17 ($6,8422 \text{ t ha}^{-1}$) con respecto al 2015/2016 ($5,8556 \text{ t ha}^{-1}$), lo cual equivale a 14,41 %.

En el caso del efecto de la fertilización en las variables en estudio no se hubo diferencias estadísticas, por ejemplo, para número de semillas por espiga los valores variaron de 54,522 para el tratamiento 50 y 50 %

Cuadro 5. Prueba de comparaciones de medias para número de semillas por espiga, peso de mil semillas y rendimiento de semilla por hectárea en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) con fertilización orgánica versus química en Roque, Celaya, Guanajuato, México. 2015-2017.

Table 5. Test of comparisons of averages for number of seeds per spike, weight of thousand seeds, and seed yield per hectare in the cultivation of oats (*Avena sativa* L.) with organic fertilization with their chemical in Roque, Celaya, Guanajuato, Mexico. 2015-2017.

Fuentes de variación	Número de semilla/espiga	Peso de 1000 semillas (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Años			
O-I / 2016/17	58,9930 a	29,2030 a	6,8455 a
O-I / 2015/16	52,0730 b	26,8130 b	5,8556 b
DSH	3,2907	1,4746	0,2048
Variedad			
Chihuahua	59,2033 a	29,2030 a	6,4630 a
Diamante	58,1467 a	28,1460 a	6,2960 a
Turquesa	57,0933 a	27,0930 a	6,2860 a
DHS	4,8427	2,1701	0,3014
Fertilización			
Químico 100 %	57,6780 a	28,7060 a	6,4660 a
Orgánico 100 %	56,7220 a	28,4830 a	6,3830 a
Químico 75 % - orgánico 25 %	54,7890 a	28,2170 a	6,3610 a
Orgánico 75 % - químico 25 %	54,5560 a	27,9110 a	6,3220 a
Químico 50 % - orgánico 50 %	54,5220 a	27,4220 a	6,2110 a
DHS	7,3179	3,2793	0,4556

Letras semejantes son estadísticamente iguales, DSH: diferencia significativa honesta Tukey ($p \leq 0,05$) / Similar letters are statistically equal, DSH: Tukey honest significant difference ($p \leq 0,05$).

fertilización química y orgánica y 57,688 para fertilización química, este mismo comportamiento se observó en peso de mil semillas y rendimiento. Entre fertilización química y orgánica la diferencia en peso de semilla fue de 0,223 g y de 83 k ha⁻¹ para rendimiento de semilla (con fertilización química fue 6,466 t ha⁻¹ y con orgánica 6,383 t ha⁻¹). Los tratamientos de fertilización química vs orgánica no afectaron el rendimiento y peso de la semilla, sin embargo, es importante considerar los costos de producción, ya que son más bajos con el uso de la lombricomposta.

Discusión

En relación al efecto del ambiente, es difícil que los factores climáticos mantengan estabilidad, es por ello, que estos resultados del ciclo del cultivo a través de años presentaron una respuesta diferencial en la calidad fisiológica (emergencia y longitud de plúmula). El origen genético marcó las diferencias fenotípicas y genotípicas entre variedades. De acuerdo con CONAGUA (2020) en el ciclo de cultivo diciembre a mayo en la siembra de 2015/16 se reportó una temperatura promedio de 18,1 °C y una precipitación promedio de 16,4 mm y referente al ciclo de siembra 2016/2017 existió una temperatura media de 18,75 °C y una precipitación de 6,7 mm, como se observa, la temperatura fue casi similar en los ciclos agrícolas, siendo el efecto de precipitación el más relevante,

sin embargo, las dos siembras se establecieron bajo riego. Las diferencias entre variedades se atribuyen al origen genético, al manejo agronómico a través de años y al efecto de ambientes (García et al., 2019). En un estudio de rendimiento y calidad de semilla de avena en función de la fecha y densidad de siembra, Bobadilla et al. (2013) concluyeron que las fechas de siembra, variedades y densidades, tuvieron influencia en la productividad y en la calidad física de la semilla. La calidad fisiológica está condicionada por la constitución genética de los genotipos. Algunos trabajos en frijol bajo fertilización orgánica, no existió diferencias en la calidad fisiológica de las semillas (germinación, longitud de plántula y emergencia), entre lo orgánico y lo convencional (Medeiros et al., 2017). La calidad fisiológica, y el vigor de la semilla, están influenciados por cambios en la composición química, proteína, principalmente soluble, almidón y contenido de azúcar (Henning et al., 2010). En un estudio de germinación de semillas y desarrollo de plántulas de avena con fertilización con silicio y fósforo se encontró que los valores más altos de la germinación y vigor se obtuvieron con fertilización fosforada a razón de 300 y 450 mg dm⁻³ (Zampar et al., 2011).

Con respecto a las variedades, se observó que solo la altura de planta tomada a los 38 días después de la siembra fue diferente estadísticamente, los valores variaron de 76,59 cm para Turquesa y 80,70 cm para la variedad Chihuahua, la Diamante presentó 80,11 cm estadísticamente igual a Turquesa. Las características de mayor importancia económica, por ejemplo, el rendimiento, son caracteres cuantitativos, es decir, herencia poligénica, y estos son fuertemente afectados por el medio ambiente, caso contrario, las cualitativas, de herencia simple, presentan poca o nula afectación por el ambiente (García et al., 2019). Esta variable juega un papel importante en el rendimiento de forraje, que aunque no se evaluó, es un componente importante en la biomasa de cualquier cultivo, y en el caso de esta especie su uso principal es la alimentación pecuaria. En un estudio de producción y contenido nutricional en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas, Montaña-Carrasco et al. (2017) concluyeron que la mayor altura se tiene con fertilización química más lixiviados de vermicomposta con valores de 77,1 a 81,5 cm, resultados similares a los aquí reportados (78 y 79 cm), otros resultados de mayor altura de planta los reportaron Fornaris y Rodríguez (2009) al fertilizar con lixiviados de lombriz a razón de 500 ml en 17 l de agua por hectárea.

El ambiente presentó un efecto estadístico significativo para el peso de mil semillas con valores de 26,81 y 29,48, en 2015/16 y 2016/17, respectivamente. Algunas evidencias relacionadas con el tema, las señalaron Bobadilla et al. (2013), quienes reportaron valores de peso de 1000 semillas en avena que van de 25 a 37 g bajo diferentes densidades y fechas de siembra. Según un estudio, se observó que la época de siembra influye en el tamaño de la semilla y por consiguiente en el peso volumétrico; sin embargo, las semillas más grandes no fueron las de peso mayor (Ayala et al., 2006). Al respecto González et al. (2005) mencionaron que cualquier factor que afecte la floración se verá reflejado en el rendimiento y número de semillas por espiga. Cualquier factor que perjudique el crecimiento del cultivo en la etapa de floración reducirá el rendimiento por afectar el número de semillas por espiga (González et al., 2005). Se describe que la incorporación de compostas o lombricompostas activan el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo si se realizan aplicaciones adicionales de nitrógeno o bien cuando las aplicaciones son por varios años (Bar-Tal et al., 2004; Arancon et al., 2007). El comportamiento de las variedades para estas variables mostró similitud estadística, la variedad Chihuahua presentó los mejores valores para número de semillas por espiga (59,2), peso de mil semillas (29,2 g), y el rendimiento (6,463 t ha⁻¹). El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportó en México para riego un promedio de rendimiento de 3,803 t ha⁻¹ de grano en 2017 y para el 2018 una media de 3,215 t ha⁻¹, en Guanajuato en 2017 el rendimiento fue 4,719 t ha⁻¹ y para 2018 un promedio de 4,778 t ha⁻¹ (SIAP, 2017; 2018).

La más pobre para estos componentes fue la variedad Turquesa con un rendimiento de semilla de 6,286 t ha⁻¹. Estos resultados son superiores a la media nacional y estatal (3,803 y 4,778 t ha⁻¹, respectivamente) (SIAP, 2018). Se ha reportado rendimientos de semilla en avena de hasta 3,42 t ha⁻¹ con densidades de siembra de 120 kg ha⁻¹ (Bobadilla et al., 2013). En la mayoría de los casos el peso final de las semillas depende de la capacidad de crecimiento de

ellas mismos (Sandras, 2007). Como se puede observar, el factor más importante que contribuyó a las diferencias estadísticas entre componentes y rendimiento fue el ambiente (años o ciclo de siembra), no así las variedades y las fertilizaciones. Por lo tanto, cabe señalar que la inocuidad para la producción de semilla cobra importancia con la fertilización de la lombricomposta, dado que no existió diferencias estadísticas entre tipos de fertilizaciones para rendimiento, además, se debe considerar primero su bajo costo, seguido por el beneficio al suelo, clima y salud.

Conclusiones

El factor año o ciclo agrícola influyó en las características de calidad de semilla, caracteres agronómicos y de rendimiento. El ciclo otoño invierno 2016/17, la producción de semilla fue superior en 14,41 % con respecto al ciclo 2015/16.

Las tres variedades de avena mantuvieron un mismo patrón de comportamiento, estadísticamente similar para germinación, días a embuche, días a espigamiento, número de semillas por espiga, peso de mil semillas y rendimiento, el mejor valor lo presentó la variedad Chihuahua con 6,4630 t ha⁻¹.

El rendimiento, así como la germinación y vigor de la semilla observados con el uso de lombricomposta resultaron estadísticamente iguales a los obtenidos con fertilización química en la producción de semilla de avena.

Literatura citada

- Atiyeh, R.M., N. Arancon, C.A. Edwards, and J.D. Metzger. 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Biores. Technol.* 75:175-180. doi:10.1016/S0960-8524(00)00064-X
- Atiyeh, R.M., J. Domínguez, S. Subler, and C.A. Edwards. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44:709-724. doi:10.1078/S0031-4056(04)70084-0
- Atiyeh, R.M., S. Lee, C.A. Edwards, N.Q., Arancon, and J.D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84:7-14. doi:10.1016/S0960-8524(02)00017-2
- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, R. Dick, and L. Dick. 2007. Vermicompost tea production and plant growth impacts. *BioCycle* 48:51-52.
- Ayala, O.J., J.M. Pichardo, J.A. Estrada, J.A. Carrillo, y A. Hernández. 2006. Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle del México. *Agric. Téc. Méx.* 32:313-321.
- Bar-Tal, A., U. Yermiyahu, J. Beraud, M. Keinan, R. Rosenberg, D. Zohar, V. Rosen, and P. Fine. 2004. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. *J. Environ. Qual.* 33:1855-1865. doi:10.2134/jeq2004.1855.
- Bobadilla, M., A.J. Gámez, M.A. Ávila, J.J. García, E. Espitia, N. Moran, y J. Covarrubias. 2013. Rendimiento y calidad de semilla de avena en función de la fecha y densidad de siembra. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4:973-985. doi:10.29312/remexca.v4i7.1139
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2020. Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. CONAGUA, MEX. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias> (consultado 10 de mar. 2020).
- Daqui, N.C., H.A. Leblanc, y R.A. Russo. 2007. Distribución espacial de carbono, nitratos y amonio en estructuras biogénicas en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Trop.* 3(1):12-25.

- Domínguez, J., M. Aira, y M. Gómez. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18(2):20-31.
- FAO. 2019. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria, No. 1. FAO, Roma, ITA. <http://www.fao.org/giews/reports/crop-prospects/es/> (consultado 22 mar. 2019).
- Fornaris, A.A., y P.A. Rodríguez. 2009. Influencia de dosis crecientes de lixiviados de abonos mixtos microbianos y lixiviado humus de lombriz sobre algunas variables morfoagronómicas en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cienc. PC* 2:100-114.
- Fortis-Hernández, M., J.A. Leos-Rodríguez, P. Preciado-Rangel, I. Orona-Castillo, J.A. García-Salazar, J.L. García-Hernández, y J.A. Orozco-Vidal. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoam.* 27:329-336.
- Gajalakshmi, S., E.V. Ramasamy, y S.A. Abbasi. 2001. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Biores. Technol.* 76:177-181. doi:10.1016/S0960-8524(00)00133-4
- García, J.G., M. Mendoza, F. Cervantes, J.G. Ramírez, C.L. Aguirre, M.A. García, M.G. Figueroa, G. Rodríguez, y S.A. Rodríguez. 2019. Adaptabilidad de híbridos precomerciales tropicales de maíz en el Bajío de Guanajuato, México. *RIAA* 10:57-66. doi:10.22490/21456453.2481
- González, F.G., G.A. Slafer, and D.J. Miralles. 2005. Floret development and survival in wheat plants exposed to contrasting photoperiod and radiation environments during stem elongation. *Funct. Plant Biol.* 32:189-197. doi:10.1071/FP04104
- Henning, F.A., L. Mertz, E. Jacob, R. Machado, G. Fiss, e E.P. Zimmer. 2010. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. *Bragantia* 69:727-734. doi:10.1590/S0006-87052010000300026
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). 2009. Prontuario de información geográfica municipal. INEGI, MEX. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13024.pdf (consultado 10 dic. 2015).
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res.* 27:93-132. doi:10.1016/S0065-2504(08)60007-0
- Leyva-Mir, S.G., H.E. Villaseñor-Mir, M. Camacho-Tapia, G.D. Ávila-Quezada, E. García-León, y J.M. Tovar-Pedraza. 2018. Respuesta de genotipos de avena a la infección por *Puccinia graminis* f. sp. avenae en Valles Altos de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9:317-328. doi:10.29312/remexca.v9i2.1074
- López-Mtz, J.D., A. Díaz, E. Martínez, y C.R.D. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoam.* 19:293-299.
- Martínez-Blanco, J., C. Lazcano, T.H. Christensen, P. Muñoz, J. Rieradevall, J. Møller, A. Antón, and A. Boldrin. 2013. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33:721-732. doi:10.1007/s13593-013-0148-7
- Márquez-Hernández, C., P. Cano-Ríos, U. Figueroa-Viramontes, J.A. Avila-Diaz, N. Rodríguez-Dimas, y J.L. García-Hernández. 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. Buenos Aires, Argentina. *Phyton* 82:55-61.
- Medeiros, G. D., C.C.M. Medeiros, C. C. M., S.C. Arruda, I.S. C. Heberle, I. and P.H. Amadeu P. H. 2017. Seed quality of common bean accessions under organic and conventional farming systems. *Pesq. Agropecu. Trop.* 47(2):152-160. doi:10.1590/1983-40632016v4745189
- Medina, C.T., y V.A. Arévalo. 2000. Manejo en el cultivo de Cebada. Estrategias de manejo y control. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Guanajuato, MEX.

- Miralles, D.J., R.A. Richard, and G.A. Slafer. 2000. Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 27:931-940. doi:10.1071/PP00021
- Montaño-Carrasco, M., A. Hernández-Rodríguez, A. Martínez-Rosales, D. Ojeda-Barrios, A. Núñez-Barrios, y V. Guerrero-Prieto. 2017. Producción y contenido nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas. *Rev. Fitotec. Mex.* 40:317-324.
- Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3ra ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., MEX.
- Pereira, M.G., and M.A. Zezzi-Arruda. 2004. Preconcentration of Cd(II) and Pb(II) using humic substances and flow systems coupled to flame atomic absorption spectrometry. *Microchim. Acta* 215-222. doi:10.1007/s00604-004-0231-5
- Ramírez, J.F., Y. Fernández, P.J. González, X. Salazar, J.M. Iglesias, y O. Yuseika. 2015. Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Egathyrus maximus*. *Pastos y Forrajes* 38:393-402.
- Salmerón, J.J., F.J. Meda, y J.R. Barcena. 2003. Variedades de avena y calidad nutricional del forraje. Folleto téc. No. 17. CESICH-CIRNOC-INIFAP-SAGARPA. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, y Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Cuauhtémoc, Chihuahua, MEX.
- Salmerón, Z., y P.S. Dick. 1993. Variedades mexicanas de avena. Folleto técnico núm. 1. SARH, INIFAP, y CESICH, MEX.
- Sandras, V.O. 2007. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. *Field Crops Res.* 100:125-138. doi:10.1016/j.fcr.2006.07.004
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. SAGARPA, MEX. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do (consultado 22 feb. 2019).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. SAGARPA, MEX. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do (consultado 22 feb. 2019).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. SAGARPA, MEX. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do (consultado 22 feb. 2019).
- Velasco-Velasco, J. R. Ferrera-Cerrato, y J.J. Almaraz-Suárez. 2003. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19(3):241-248.
- Villaseñor, H.E., E. Espitia, J. Huerta, L. Osorio, y J. López. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agric. Téc. Méx.* 35:487-492.
- Zampar, M., R. Arroyo, A. Merlin, and D. Maximino. 2011. Seed germination and seedling development of white oat affected by silicon and phosphorus fertilization. *Sci. Agric.* 68:18-23. doi:10.1590/S0103-90162011000100003