

Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena*

Impact of tillage systems and nitrogen doses on yield and nutritional quality of forage oats

Hernán Gil Gil¹, Carlos Gustavo Martínez Rueda^{1§} y Gaspar Estrada Campuzano¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo" Piedras Blancas, Toluca, México. Tel: 722 2 96 55 18. (hernan_5021@hotmail.com; gestradac@uaemex.mx). [§]Autor para correspondencia: cgmartinezr@uaemex.mx.

Resumen

En el valle de Toluca, se han hecho pocos esfuerzos para valorar las prácticas que se utilizan en la agricultura de conservación como son el uso de camas permanentes. Con base a lo anterior, se evaluó el efecto del sistema de siembra directa con rastrojo (SDCR) y sin rastrojo (SDSR) y siembra convencional sin rastrojo (SC), bajo dos dosis de N (60 y 100 kg N ha⁻¹) sobre el rendimiento y calidad nutricional de cuatro variedades de avena forrajera (Avemex, Obsidiana, Karma y Turquesa). El experimento se condujo en Toluca, México durante el ciclo invierno-primavera 2009-2010 bajo un diseño de franjas subdivididas con tres repeticiones. Los sistemas de labranza y fertilización influyeron directamente en el rendimiento de forraje. Con SC y SDSR se obtuvieron los máximos rendimientos de forraje verde (14.17 y 11.81 t ha⁻¹, respectivamente) y materia seca (6.37 y 6.04 t ha⁻¹, respectivamente). Al aumentar la dosis de N se incrementó el rendimiento de forraje verde 42% y de materia seca 48%. Las variedades evaluadas mostraron poca variación para rendimiento y calidad nutricional de forraje, pero respondieron en forma diferente a los cambios en el sistema de labranza y aplicación de N. La variedad Avemex expresó el mejor comportamiento promedio a través de los tres sistemas de labranza, mientras que Turquesa mostró baja adaptación a los sistemas de siembra directa. El incremento en la dosis de N se manifestó en mayor concentración de proteína y fibra, mejorándose así su calidad nutricional.

Abstract

In the Valley of Toluca, few efforts have been made to assess the practices used in conservation agriculture, such as the use of permanent beds. Based on the above, the effect of no-till farming with stubble (SDCR) and without stubble (SDSR) and conventional seeding without stubble (SC) under two doses of N (60 and 100 kg N ha⁻¹) on yield and nutritional quality of four varieties of forage oats (Avemex, Obsidiana, Karma and Turquesa) were evaluated. The experiment was conducted in Toluca, Mexico during the winter-spring cycle of 2009-2010 under a subdivided strip plot design with three replications. Tillage systems and fertilization directly influenced on forage yield. With SC and SDSR, maximum forage yields obtained (14.17 and 11.81 t ha⁻¹, respectively) and dry matter (6.37 and 6.04 t ha⁻¹, respectively). By increasing the dose of N, green fodder yield increased 42% and dry matter 48%. The varieties showed little variation for yield and nutritional quality of forage, but responded differently to changes in tillage system and N application. Avemex showed the best average behavior across the three tillage systems, while Turquoise showed low adaptation to no-till farming systems. The increase in the dose of N resulted in a higher concentration of protein and fiber, thus improving their nutritional quality.

* Recibido: noviembre de 2013
Aceptado: abril de 2014

Palabras clave: calidad nutricional, siembra directa, rendimiento de forraje, nitrógeno.

Keywords: nutritional quality, no-till farming, forage yield, nitrogen.

Introducción

En los últimos cincuenta años los sistemas de labranza convencionales han provocado a nivel nacional un deterioro constante del suelo, lo que ha limitado los incrementos en los rendimientos y en la productividad de dichos sistemas. Sin embargo, existen alternativas para contrarrestar estas condiciones y a largo plazo, recuperar o mantener la calidad del suelo; una de ellas es la agricultura de conservación (AC) que permite optimizar el uso de los recursos, mediante la aplicación de tres principios generales: 1) la retención sobre el suelo de los residuos de cosecha anterior; 2) la siembra directa o cero labranza; y 3) la rotación de cultivos (Martínez y Jasso, 2005; Govaerts *et al.*, 2009). El empleo de los residuos de cultivos anteriores es un factor clave para el éxito de la AC, dado que su presencia permite atenuar la erosión y retener mayor cantidad de agua disponible en el suelo, por lo que se recomienda que el productor deje al menos 30% de los residuos como cobertura de suelo (Govaerts *et al.*, 2005).

La AC en su versión de camas permanentes con retención de residuos de las cosechas anteriores se ha propuesto como alternativa para la producción de trigo buscando bajar los costos de producción, conservar los recursos naturales y reducir en la medida de lo posible el impacto ambiental de las labores agrícolas (Govaerts *et al.*, 2007). De esta forma, la reducción del laboreo ayuda a la conservación del suelo y agua y abarata los costos de producción trayendo consigo numerosos beneficios adicionales en comparación con otros sistemas de siembra (Deen y Katakai, 2003; Sisti *et al.*, 2004). Los sistemas de camas permanentes se han utilizado por los agricultores de diversas partes del mundo. Su origen y uso está asociado con un manejo más eficiente del agua y mayor eficiencia en el uso de otros insumos (Govaerts *et al.*, 2007; Sayre, 2009).

La siembra directa sobre camas permanentes, se adapta exitosamente para la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) bajo condiciones de riego en siembras de invierno-primavera (Litcher *et al.*, 2008, Govaerts *et al.*, 2009); sin embargo, no se ha explorado el uso de este sistema de siembra para la producción de forraje de avena (*Avena sativa* L.) en los valles altos del estado de México.

Introduction

In the last fifty years conventional tillage systems have led to a steady soil deterioration nationwide, which has limited the increases in yields and productivity of these systems. However, there are ways to counteract these conditions and in the long-term, restore or maintain soil quality; one of them is conservation agriculture (CA) that optimizes the use of resources through the application of three general principles: 1) retention on the soil of previous crop residues; 2) no-till farming or zero-tillage; and 3) crop rotation (Martínez and Jasso, 2005; Govaerts *et al.*, 2009). The use of residues from previous crops is a key factor for the success of CA, since its presence can reduce erosion and retain more water available in the soil, so it is recommended that producers leaves at least 30% of crop residue as a soil cover (Govaerts *et al.*, 2005).

CA in its version of permanent beds with residue retention from prior harvests has been proposed as an alternative for wheat production, searching to lower production costs, conserve natural resources and reduces as far as possible the environmental impact of farming (Govaerts *et al.*, 2007). Thus, the reduction of tillage helps to conserve soil and water and lowers production costs bringing many additional benefits compared to other planting systems (Deen and Katakai, 2003; Sisti *et al.*, 2004). Permanent bed systems have been used by farmers in various parts of the world. Its origin and use is associated with a more efficient water management and more efficient use of other inputs (Govaerts *et al.*, 2007; Sayre, 2009).

No-till farming on permanent beds, was successfully adapted for wheat production (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) under irrigated conditions in winter-spring crops (Litcher *et al.*, 2008; Govaerts *et al.*, 2009); however, has not been explored the use of this seeding system for the production of forage oat (*Avena sativa* L.) in the high valleys of the state of Mexico.

In this region maize (*Zea mays* L.) predominates in the spring-summer season under rainfed conditions either for grain or forage production. However, one of the limitations

En esta región el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) predomina ampliamente en el ciclo primavera-verano bajo condiciones de temporal ya sea para la producción de grano y/o forraje. Sin embargo, una de las limitaciones en la ganadería de la zona es la escasez de forraje durante la época de estiaje, por lo que una posible alternativa para cubrir este déficit es la producción de forraje utilizando cereales de invierno, sobre las mismas camas de siembra después del cultivo de maíz y sin remover el suelo. Por otro lado, la avena es una especie que tiene un amplio rango de adaptación a distintas condiciones ambientales y se cultiva en casi toda la república mexicana y se utiliza fundamentalmente para la producción de forraje verde, forraje henificado, grano y alimentos balanceados (Espitia *et al.*, 2003; Agustín, 2007).

La avena al igual que el trigo y el triticale (*X Triticosecale* Wittmack) se puede cultivar en invierno bajo condiciones de riego ya que soporta bajas temperaturas durante la fase de crecimiento vegetativo (Zamora *et al.*, 2002). Sin embargo, se sabe poco sobre la respuesta que tiene este cultivo bajo sistemas de labranza de conservación y sobre su manejo agronómico cuando se siembra en camas permanentes.

Con base a lo anterior, se realizó el presente trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de tres sistemas de labranza sobre el rendimiento y calidad nutricional de cuatro variedades de avena, haciendo variar la dosis de nitrógeno, bajo condiciones de riego en ciclo invierno-primavera en el valle de Toluca, México.

Materiales y métodos

Ubicación del trabajo experimental

El trabajo experimental se llevó a cabo durante la estación de crecimiento invierno-primavera 2009-2010, en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), ubicada en la localidad de El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México, a 19° 17' latitud norte y 99° 39' longitud oeste, y a una altitud de 3 675 msnm. El clima predominante es del tipo C(w2)(w)b(i'), que de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (García, 1988) corresponde al clima templado subhúmedo con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8 °C y precipitación promedio anual de 900 mm.

on livestock in the area is the shortage of forage during the dry season, so a possible alternative to cover this gap, is forage production using winter cereals on the same planting beds after maize and without soil removal. Furthermore, oats are species that have a wide range of adaptation to different environmental conditions and is grown in almost all of Mexico and is primarily used for the production of green fodder, forage as hay, grain and balanced meal (Espitia *et al.*, 2003; Agustín, 2007).

Oats as wheat and triticale (*X Triticosecale* Wittmack) can be grown in winter under irrigation because it supports low temperatures during the vegetative growth stage (Zamora *et al.*, 2002). However, little is known about the response that this crop has under conservation tillage systems and their agronomic management when sown on permanent beds.

Based on the above, the present study aimed to evaluate the effect of three tillage systems on yield and nutritional quality of four varieties of oats, by varying the dose of nitrogen, under conditions of irrigation in the winter- spring cycle in the Valley of Toluca, Mexico.

Materials and methods

Location of the experimental work

The experimental work was carried out during the growing season winter-spring 2009-2010, in the Faculty of Agricultural Sciences at the Autonomous University of the State of Mexico (UAEM), located in the town of El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Mexico, at 19° 17' north latitude and 99° 39' west longitude, at an altitude of 3 675 masl. The predominant climate is type C(w2)(w)b(i'), which according to the Köppen climate classification (García, 1988) correspond to humid temperate climate with rains in summer and low rainfall in winter (5%), low thermal oscillation, mean annual temperature of 12.8 °C and average annual rainfall of 900 mm.

The predominant soil type is Pelic Vertisol of volcanic origin, shows a light gray to grayish brown surface horizon, with yellowish speckles on the surface of peds, as result from Fe oxidation, caused by the poor permeability

El tipo de suelo predominante es Vertisol pélico de origen volcánico, presenta un horizonte superficial de color gris claro a café grisáceo, con moteado amarillento en la superficie de los peds producto de la oxidación del Fe, provocadas por la permeabilidad deficiente de la zona; la clase textural es franco arcillosa con elevado contenido de arcilla (hasta 36%); la densidad aparente de la superficie puede alcanzar hasta 1.26 g cm^{-3} , producto del disturbio por la labranza; el pH de la zona es en promedio de 5.5 que al estar fuertemente relacionado con la capacidad de intercambio catiónico altera los valores de este último llevándolo hasta valores de $25 \text{ Cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ es lo que repercute en un bajo aporte de cationes del suelo para el cultivo. El contenido de macroelementos generalmente es bajo en N, P y K que solo alcanzan en promedio 0.11%, 20 ppm y 60 ppm respectivamente.

Preparación del terreno

El trabajo experimental se estableció en un lote de 9 000 m^2 previamente cultivado con maíz en el ciclo primavera-verano de 2008 bajo el sistema de labranza convencional. Después de la cosecha del lote se inició la preparación del suelo el 30 de enero de 2009 con un paso de rastra, un subsoleo y otro paso de rastra. Una vez preparado el terreno con una cultivadora se surcó a 80 cm para formar las camas de siembra y sobre ellas el 08 de febrero de 2009 se estableció un cultivo de avena (var. Chihuahua) en toda la superficie con una sembradora Modelo 2112C (AITCHISON) la siembra se hizo a doble hilera, con una distancia de 20 cm entre hileras y una densidad de 100 kg de semilla ha^{-1} . Cuando el cultivo se encontraba en la etapa de embuche el 27 de abril de 2009 se cosechó la avena con una cortadora Modelo ZAKB165.

En un segundo ciclo el 29 de abril de 2009 se estableció un cultivo de maíz (Híbrido H-722) con una sembradora de labranza de conservación Modelo LC-2002N en toda la parcela sobre las camas de siembra de la avena cosechada del ciclo anterior. A los 220 días después de la siembra, cuando alcanzó el maíz la madurez fisiológica se cosechó de forma manual y se dividió el lote experimental en tres franjas, en una de las franjas (45 surcos) se retiró por completo el rastrojo de maíz y se le realizaron las labores tradicionales: rastra, arado y rastra (siembra convencional SC). En la segunda franja (30 surcos) se retiró por completo el rastrojo de maíz sin mover el suelo (siembra directa sin rastrojo SDSR) y en la tercera franja (30 surcos) se dejó por completo el residuo de la cosecha de maíz y se pasó un rodillo para tirar el rastrojo y dejarlo sobre el suelo (siembra directa con rastrojo SDCR).

of the area; the texture is clay loam with high clay content (up to 36%); the bulk density of the surface can reach up to 1.26 g cm^{-3} , resulting from disturbance by tillage; the pH of the area is on average 5.5 that is strongly related to cation exchange capacity that alters the values of the latter, leading it to values of $25 \text{ Cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$, causing a low contribution of cations from soil for the crop. The content of macro elements is generally low in N, P and K, reaching on average only 0.11%, 20 ppm and 60 ppm respectively.

Soil preparation

The experiment was set in a field of 9 000 m^2 previously cultivated with corn in the spring-summer season of 2008 under conventional tillage system. After harvesting the field, soil preparation began on January 30, 2009 with a subsoiler and harrowing. Once prepared the soil with a tiller was plowed at 80 cm for bed shaping to plant on them on February 8, 2009. Oat was established (var. Chihuahua) over the field with a seed drill, Model 2112C (AITCHISON). Planting was made in double rows, with a distance of 20 cm between rows and a density of 100 kg seed ha^{-1} . When the crop was in booting on April 27, 2009 it was harvested with a hay mower Model ZAKB165.

In a second cycle, April 29, 2009 corn (hybrid H-722) was established with a conservation tillage seeder Model LC-2002N on the beds where oat was planted the previous cycle. At 220 days after planting, when corn reached physiological maturity it was harvested manually and the experimental batch was divided into three strips; in one of the strips (45 rows) corn stover was removed completely and made the traditional tasks: harrow, plow and harrow (conventional planting SC). In the second strip (30 rows) corn stover removed completely, without moving the soil (no-till farming without stover SDSR) and the third strip (30 rows) allowed the entire corn crop residue and a roller was passed to throw and leave the stover on the soil (no-till farming with stover (SDCR).

Establishment and management of the experimental work

In a third cycle, December 19, 2009 in each of the tillage systems four varieties of oats (Avemex, Turquesae, Karma and Obsidiana) were established, which were randomized and planted within each system with a conservation

Establecimiento y manejo del trabajo experimental

En un tercer ciclo, el 19 de diciembre de 2009 en cada uno de los sistemas de labranza se establecieron en seco cuatro variedades de avena (Avemex, Turquesa, Karma y Obsidiana), las cuales fueron aleatorizadas y sembradas dentro de cada sistema con una sembradora de labranza de conservación Modelo LC-2005-DH-N, a una densidad de siembra de 100 kg de semilla ha⁻¹ a doble hilera (20 cm entre hileras). Al momento de la siembra se fertilizó todo el lote experimental con el tratamiento 60-60-30 usando como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio: urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. Aplicándose el riego de siembra el 22 de diciembre de 2009.

A los 45 días después de la siembra las franjas (sistemas de labranza) se dividieron en tres bloques y cada bloque se dividió a su vez en dos subbloques, aplicándose en uno de ellos 40 kg de N ha⁻¹ en forma de urea, para lograr una dosis final de 100 kg de N ha⁻¹, mientras que la otra franja se mantuvo el resto del ciclo de cultivo con la dosis inicial de 60 kg de N ha⁻¹. El tamaño de la parcela experimental fue de 48 m² (seis surcos de 10 m de longitud espaciados a 0.80 m), considerándose como parcela experimental útil a los ocho metros interiores de los cuatro surcos centrales (25.6 m²). Durante el ciclo de crecimiento del cultivo se aplicaron tres riegos de auxilio de auxilio por inundación con intervalos de 1-13 y 21 días (25-02-2010; 10-03-2010 y 31-03-2010), hasta alcanzar capacidad de campo en cada uno de ellos.

El arreglo factorial de tratamientos (2*3*4) se evaluó bajo un diseño de franjas subdivididas con tres repeticiones, en donde la parcela mayor correspondió a la dosis de N, la parcela mediana al sistema de labranza y la parcela chica a la variedad de avena (Gómez and Gómez, 1984).

Variables de estudio y análisis estadístico

Durante la última semana del mes de abril cada una de las parcelas experimentales se cosechó el forraje justamente cuando 50% de las inflorescencias presentaron granos con consistencia lechosa-masosa que correspondió a la etapa Z 75 según escala de Zadoks (Zadocks *et al.*, 1974). Las plantas se cortaron manualmente a una altura aproximada de 3 cm sobre la superficie del suelo, dentro de una superficie de 6.4 m² (4 surcos de 2 m de largo) elegidos aleatoriamente dentro de la parcela experimental útil. El forraje cosechado

agricultura seed drill Model LC-2005-DH-N, at a seeding rate of 100 kg seed ha⁻¹ in double rows (20 cm between rows). Upon planting the experimental field was fertilized with a treatment 60-60-30 using as nitrogen, phosphorus and potassium source: urea, triple superphosphate and potassium chloride, respectively; irrigating on December 22 of 2009.

At 45 days after planting the strips (tillage systems) were divided into three blocks and each block was divided into two sub blocks, applying in one 40 kg N ha⁻¹ as urea, to achieve a final dose of 100 kg N ha⁻¹, while in the other strip remained the initial dose of 60 kg N ha⁻¹ for the rest of the cycle. The experimental plot size was 48 m² (six rows 10 m length spaced at 0.80 m), considered as the useful experimental plot, eight meters inland of the four central rows (25.6 m²). During the growth crop cycle three auxiliary irrigations were applied by flooding with intervals 1-13 and 21 days (25-02-2010; 10-03-2010 and 31-03-2010), reaching field capacity each one of them.

The factorial arrangement of treatments (2*3*4) was evaluated under a subdivided strip plot design with three replications, where the main plot corresponded to N doses, intermediate plot to tillage system and smaller plot to oats varieties (Gómez and Gómez, 1984).

Study variables and statistical analysis

During the last week of April, each of the experimental plots, forage was harvested just as 50% of inflorescences showed grains with a milky-dough consistency that corresponded to stage Z 75 according to Zadoks scale (Zadocks *et al.*, 1974). Plants were cut manually at a height approximately of 3 cm above the soil surface, within an area of 6.4 m² (4 rows of 2 m length) randomly chosen within the useful experimental plot. The harvested forage was placed in plastic bags and weighed immediately to determine green fodder yield in t ha⁻¹ (RFV), then a subsample of 500 g of each green fodder sample harvested was taken and kept in a forced air oven at 65-70 °C for 48 h. Then the dry weight of forage from the subsamples (PSF) and the dry matter yield was determined in t ha⁻¹ (RMS) through the following expression: RMS= RFV x (0.5/PSF). Additionally, a sample of 0.4 m² was harvested within each useful plot, of which the number of tillers was counted and multiplied by 2.5 to get the number per m² (NM), then a random subsample

se colocó en bolsas de plástico y se pesaron inmediatamente para determinar el rendimiento de forraje verde en $t\ ha^{-1}$ (RFV), posteriormente se tomó una submuestra de 500 g de cada muestra de forraje verde cosechado y se mantuvo en una estufa con aire forzado a 65-70 °C durante 48 h. En seguida se determinó el peso seco de forraje de la submuestra (PSF) y el rendimiento de materia seca en $t\ ha^{-1}$ (RMS) a través de la siguiente expresión: $RMS = RFV * (0.5/PSF)$. Adicionalmente se cosechó una muestra de 0.4 m^2 dentro de cada parcela útil, de la cual se contó el número macollos y se multiplicó por 2.5 para obtener el número de por m^2 (NM), posteriormente se tomó una submuestra aleatoria de 50 tallos y separándolos de las hojas (sin remover la vaina) y las panículas, los cuales se secaron con la misma metodología usada en PFS hasta obtener el peso constante de la materia seca (MS), posteriormente se pesó cada uno de estos componentes, para obtener la MS promedio individual de tallos (PST), hojas (PSH) y panículas (PSP) dividiendo entre 50 el peso en gramos de cada componente. La relación hoja-tallo (RH-T) se obtuvo de dividir PSH/PST.

Las submuestras que se utilizaron para determinar MS se molieron en un molino de martillos modelo DPMJUNIOR™ y posteriormente se tomó una submuestra de 100 g de forraje molido, a la cual se le dio una segunda molienda utilizando un molino electromecánico tipo Willey con malla del No. 20 para obtener un tamaño de partícula de 0.8-1 mm. Con las submuestras molidas se realizaron los análisis bromatológicos determinándose los siguientes componentes: contenido de cenizas (CZ) por incineración en una mufla a 550 °C por tres horas, contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) utilizando un digestor de fibras Ankom™, lignina detergente neutro (LDN) usando una solución de H_2SO_4 al 72%, proteína cruda (PC) por el método micro Kjeldahl ($\% N \times 6.25$); otras variables que se estimaron fueron: total de nutrientes digestibles [$TND(\%) = 81.38 + (PC * 0.36) - (FDA * 0.77)$] y valor alimenticio relativo [$VAR = (88.9 - (0.779 * FDA)) * (120 / FDN) / 1.29$], que indica una estimación relativa de la calidad de los alimentos y forrajes donde valores iguales o mayores a 100 indican buena calidad nutritiva según Minson (1990). Con los datos obtenidos de cada parcela se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de los efectos principales, mediante la prueba de Tukey al 0.05, bajo un diseño de franjas subdivididas con tres repeticiones (Gómez y Gómez, 1984).

of 50 stems was taken and separated leaves (without removing the sheath) and panicle which were dried using the same method used in PFS until constant weight of the dry matter (MS), then weighed, each of these components to obtain the MS average of individual stems (PST), leaves (PSH) and panicles (PSP) dividing by 50 the weight in grams of each component. The leaf-stem ratio (RH-T) was obtained by dividing PSH / PST.

Sub-samples were ground in a hammer mill model DPMJUNIOR™ to determine MS and then a subsample of 100 g of ground forage was taken, to which was given a second milling using an electromechanical mill Willey type with mesh No. 20 to obtain a particle size of 0.8-1 mm. With the ground subsamples, bromatological analysis were made, to determine the following components: ash content (CZ) by incineration in a muffle furnace at 550 °C for three hours, the contents of neutral detergent fiber (FDN) and acid detergent fiber (FDA) using a digester fiber Ankom™, neutral detergent lignin (LDN) using a solution of H_2SO_4 at 72%, crude protein (PC) by the micro Kjeldahl method ($\% N \times 6.25$); other variables that were estimated: total digestible nutrients [$TND(\%) = 81.38 + (0.36 * PC) - (FDA * 0.77)$] and relative feed value [$VAR = (88.9 - (0.779 * FDA)) * (120 / FDN) / 1.29$], indicating a relative estimate of food quality and fodder, where values equal to or greater than 100 indicate good nutritional quality according to Minson (1990). With data collected from each plot, an analysis of variance and comparison of means of the main effects was made by Tukey test at 0.05, under a subdivided strip plot design with three replications (Gómez and Gómez, 1984).

Results and discussion

Climate elements

Climate conditions that occurred during the experiment delayed growth and development in four varieties due to low temperatures recorded during the months of December to February until March when the temperatures started to rise (Table 1). The average ambient temperature during the whole growing season (December 2009 - April 2010) was relatively low (10.2 °C) with a total rainfall of 168 mm,

Resultados y discusión

Elementos del clima

Las condiciones climáticas ocurridas durante el experimento retrasaron el crecimiento y desarrollo en las cuatro variedades debido a las bajas temperaturas que se registraron durante los meses de diciembre a febrero, hasta el mes de marzo en que inició el ascenso en la temperatura (Cuadro 1). La temperatura ambiente promedio durante toda la estación de crecimiento (diciembre 2009 - abril 2010) fue relativamente baja (10.2 °C) con una precipitación total de 168 mm, de los cuales 90% ocurrió en los meses de enero (40 mm) y febrero (112 mm) (Cuadro 1), por lo que hubo necesidad de aplicar dos riegos los días 10 y 31 de marzo. Las bajas temperaturas y escasa precipitación durante el periodo invernal son condiciones climáticas que caracterizan a los valles altos de México, sin embargo, la adaptabilidad de la avena le permite producir biomasa en cantidades relativamente altas siempre y cuando se disponga de riego durante las etapas fenológicas críticas de embuche anthesis y llenado de grano que coincide son los meses que el cultivo demanda mayor demanda de agua en el suelo (Agustín, 2007).

Cuadro 1. Resumen mensual de temperaturas y precipitación durante el ciclo invierno-primavera 2009-2010, en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México.

Table 1. Monthly summary of temperatures and precipitation during the winter-spring cycle 2009-2010 in El Cerillo Piedras Blancas, Toluca, Mexico.

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
Diciembre	18.9	-1.8	8.5	0
Enero	18.2	0.4	9.2	40
Febrero	18.7	0.8	9.5	112
Marzo	22	2.6	11	0
Abril	23.2	4.6	13	16
Promedio	20.2	1.2	10.2	Total: 168

Fuente: estación climática de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, 2010.

Producción de forraje y asignación de materia seca

Al aumentar la dosis de N de 60 a 100 kg ha⁻¹ se incrementó significativamente ($p \leq 0.05$) el RFV en 42%, de la misma manera que NM (45%) y RMS (48%) (Cuadro 2). La mayor dosis de N modificó en sentido positivo, aunque no significativamente ($p > 0.05$), el PST (5%), PSH (36%), PSP (29%) y RH-T (31%) (Cuadro 3). Se encontraron diferencias significativas entre los tres sistemas de labranza ($p \leq 0.05$) para RFV, donde el SC superó a SDSR y SDCR con rendimientos de

of which 90% occurred in the months of January (40 mm) and February (112 mm) (Table 1), so no need to apply two irrigations on the 10th and 31st of March. Low temperatures and scarce precipitation during winter are climate conditions that characterize the high valleys of Mexico, however, oat adaptability allows to produce biomass in relatively high amounts as long as the availability of irrigation during critical growth stages of booting, anthesis and grain filling that coincide with the months that the crop has a higher demand of water from the soil (Agustín, 2007).

Forage production and dry matter allocation

By increasing N doses from 60 to 100 kg ha⁻¹ RFV increased significantly ($p \leq 0.05$) in 42%, in the same way that NM (45%) and RMS (48%) (Table 2). The higher dose of N changed in a positive way, but not significantly ($p > 0.05$), PST (5%), PSH (36%), PSP (29%) and RH-T (31%), (Table 3). Significant differences between the three tillage systems ($p \leq 0.05$) were found, for RFV, where SC exceeded SDSR and SDCR with yields of 14.17, 11.8 and 7.04 t ha⁻¹, respectively, whereas the maximum average for RMS (6.37 and 6.04 t ha⁻¹) were obtained with SC and SDSR, which significantly exceeded ($p < 0.05$) the RMS obtained with SDCR (4.59 t ha⁻¹).

No significant changes occurred in PST, PSH, PSP and RH-T by effect of tillage system (Table 2) but in the case of NM where SC and SDSR significantly exceeded ($p \leq 0.05$) to SDCR (Table 3). Regarding the average behavior of varieties, Avemex excelled with the highest RFV and RMS (13.76 and 6.54 t ha⁻¹), significantly exceeding ($p \leq 0.05$) Karma, Obsidian and Turquoise whose RFV were 10.06, 11.63 and 8.57 t ha⁻¹, with equivalent RMS to 5.12, 5.76 and 5.24 t MS ha⁻¹. The observed potential of RFV and RMS in Avemex was associated to its high tillering capacity

14.17, 11.8 y 7.04 t ha⁻¹, respectivamente, mientras que para el RMS los máximos promedios (6.37 y 6.04 t ha⁻¹) se obtuvieron con SC y SDSR, los cuales superaron significativamente ($p < 0.05$) al RMS obtenido con SDCR (4.59 t ha⁻¹).

No se presentaron cambios significativos en PST, PSH, PSP y RH-T por efecto del sistema de labranza (Cuadro 2) pero si para el caso de NM donde SC y SDSR superaron significativamente ($p \leq 0.05$) a SDCR (Cuadro 3). Por lo que se refiere al comportamiento promedio de las variedades, sobresalió Avemex con los RFV y RMS más altos (13.76 y 6.54 t ha⁻¹), superando significativamente ($p \leq 0.05$) a Karma, Obsidiana y Turquesa cuyos RFV fueron de 10.06, 11.63 y 8.57 t ha⁻¹, con RMS equivalentes a 5.12, 5.76 y 5.24 t MS ha⁻¹. El potencial de RFV y RMS observado en Avemex estuvo asociado a su alta capacidad de amacollamiento (314 macollos por m²), superando significativamente a las otras tres variedades, con un rango de 246 a 265 macollos por m². Las cuatro variedades mostraron mayor proporción de MS en tallo y panícula y menor proporción de MS en hoja, destacándose Obsidiana por presentar mayor PST y PSP con 1.8 g y 1.22 g respectivamente, mientras que Turquesa presentó el mayor PSH con 0.21 g (Cuadro 3).

(314 tillers per m²), significantly outperforming the other three varieties, with a range of 246-265 tillers per m². The four varieties showed higher proportion of MS in stem and panicle and lower proportion of MS in sheet, highlighting Obsidian by presenting higher PST and PSP with 1.8 g and 1.22 g respectively, while Turquoise showed higher PSH with 0.21 g (Table 3).

There were only significant differences ($p \leq 0.05$) for PST in the N x V interaction and for RMS in the S*V and N*S*V interactions (Table 2). In the three tillage systems the four varieties responded positively to the increase of N highlighting Avemex obtaining the highest yields in RFV and RMS in the three planting systems with low doses of N and in the conventional planting system with high dose of N, while Turquesa showed significantly lower RFV and RMS than the other varieties in SDCR (Figures 1 and 2).

Nitrogen extraction (N) by the oat is about 20 kg N per ton of produced dry matter. This species, like other gramineae, responds positively to the addition of N at the time of sowing (Fontanetto, 2008). Nitrogen fertilization

Cuadro 2. Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para rendimiento de forraje verde (RFV); número de macollos por m² (NT); peso seco de hojas (PSH); peso seco de tallo (PST); peso seco panículas (PSP); relación hoja-tallo (RH-T) y rendimiento de materia seca por m² (RMS) en avena forrajera cultivada en Toluca, México.

Table 2. Values of F and their statistical significance in the analysis of variance for green fodder yield (RFV); number of tillers per m² (NT); leaf dry weight (PSH); stem dry weight (PST); panicle dry weight (PSP); leaf-stem ration (RH-T) and dry matter yield per m² (RMS) in forage oat grown in Toluca, Mexico.

FV	gl	RFV	NM	PSH	PST	PSP	RH-T	RMS
Bloques	2	0.67ns	2.56ns	0.23ns	2.28ns	1.48ns	0.32ns	1.74ns
Nitrógeno	1	84.09*	91.39*	1.56ns	2.15ns	1.8ns	0.99ns	440.76**
Error (a)	2	(6.39) [†]	(3908.7)	(0.04)	(0.05)	(0.72)	(0.06)	(8666.1)
S. de labranza	2	111.96**	17.77*	0.18ns	47.95**	0.70ns	0.80ns	21.29**
Error (b)	2	(633.91)	(6403.1)	(0.01)	(1.58)	(0.67)	(0.03)	(42981.1)
N*S	2	2.44ns	0.91ns	0.45ns	2.58ns	1.35ns	0.2ns	1.1ns
Error (c)	2	(29.57)	(816.02)	(0.01)	(0.16)	(1.54)	(80.01)	(1609.3)
Variedad	3	22.37**	7.51**	1.38ns	3.01*	2.59*	1.24ns	11.53**
N*V	3	0.38ns	0.12ns	0.25ns	4.09*	0.49ns	0.68ns	1.57ns
S*V	6	1.50ns	1.82ns	1.17ns	1.25ns	0.87ns	0.82ns	5.67**
N*S*V	6	0.77ns	1.75ns	0.35ns	1.44ns	0.94ns	0.4ns	1.97*
Error (d)	6	(19.24) [†]	(2922.3)	(0.02)	(0.35)	(2.62)	(0.04)	(6883.6)

*, **, = significativo al 0.05 y 0.01; ns= no significativo. [†]valores entre paréntesis corresponden a cuadrados medios.

Cuadro 3. Rendimiento de forraje verde (RFV); peso seco de tallo (PST); peso seco de hojas (PSH); peso seco panículas (PSP); relación hoja-tallo (RH-T); número de tallos por m² (NT) y rendimiento de materia seca por m² (RMS) en avena forrajera cultivada en Toluca, México.

Table 3. Green fodder yield (RFV); stem dry weight (PST); leaf dry weight (PSH); panicle dry weight (PSP); leaf-stem ratio (RH-T); number of stems per m² (NT) and dry matter yield per m² (RMS) in forage oat grown in Toluca, Mexico.

	PST (g)	PSH (g)	PSP (g)	RH-T	NM (macollos m ⁻²)	RFV (t ha ⁻¹)	RMS (t ha ⁻¹)
Nitrógeno							
60 kg N ha ⁻¹	1.1 a	0.14 a	0.75 a	0.13 a	221 b	9.07 b	4.56 b
100 kg N ha ⁻¹	1.15 a	0.19 a	0.97 a	0.17 a	320 a	12.94 a	6.78 a
DSH _(0.05)	ns	ns	ns	ns	(45)	(1.81)	(0.46)
Sistema de labranza							
SDCR	0.96 c	0.17 a	0.98 a	0.18 a	230 b	7.04 c	4.59 b
SDSR	1.1 b	0.16 a	0.78 a	0.14 a	302 a	11.81 b	6.04 a
SC	1.32 a	0.17 a	0.77 a	0.13 a	278 a	14.17 a	6.37 a
DSH _(0.05)	(0.13)	(0.11)	(0.71)	(0.14)	(44)	(1.73)	(1.02)
Variedad							
Avemex	1.16 a	0.13 a	0.76 a	0.11 a	314 a	13.76 a	6.54 a
Turquesa	1.16 a	0.21 a	0.74 a	0.18 a	249 b	8.57 c	5.12 b
Obsidiana	1.18 a	0.16 a	1.22 a	0.13 a	246 b	11.63 b	5.76 b
Karma	1.01 a	0.17 a	0.68 a	0.19 a	265 b	10.06 b	5.24 b
DSH _(0.05)	(0.18)	(0.09)	(0.61)	(0.12)	(47)	(1.78)	(0.72)

Medias con la misma letra dentro de cada factor de estudio no difieren entre sí (Tukey 0.05).

Sólo hubo efectos significativos ($p \leq 0.05$) para PST en la interacción N x V; y para RMS en las interacciones S*V y N*S*V (Cuadro 2). En los tres sistemas de labranza las cuatro variedades respondieron positivamente aumento de la dosis de N destacándose la variedad Avemex por obtener los mayores rendimientos RFV y RMS en los tres sistemas de siembra con dosis baja de N y en el sistema de siembra convencional con la dosis alta de N, mientras que para el caso de Turquesa mostró RFV y RMS significativamente menores al resto de las variedades en el SDCR (Figuras 1 y 2).

La extracción de nitrógeno (N) por la avena es aproximadamente de 20 kg N por tonelada de materia seca producida. Esta especie, al igual que el resto de las gramíneas,

increases the growth rate and favors the production of dry matter, varying the response in function of the nitrogen dose used at the time of application and tillage method. In the present work, the observed response to nitrogen fertilization agrees with the results obtained by (Salazar-Sosa *et al.*, 2003) who found a positive response of oat to doses of 100 kg N ha⁻¹ in conventional and conservation tillage systems. However, the same authors found that after five years of keeping the soil under zero tillage, residue accumulation and fertilizer application favored in this system enzyme activity, inducing greater mineralization and N uptake, which was reflected in higher RFV and RMS than in conventional tillage systems and in the minimum tillage.

responde positivamente al agregado de N al momento de siembra (Fontanetto, 2008). La fertilización nitrogenada aumenta la tasa de crecimiento y favorece la producción de materia seca, variando la respuesta en función a la dosis de nitrógeno empleada, al momento de aplicación y al método de labranza. En el presente trabajo, la respuesta observada a la fertilización nitrogenada coincide parcialmente con los resultados obtenidos por (Salazar-Sosa *et al.*, 2003) quienes encontraron una respuesta positiva de la avena a dosis de 100 kg N ha⁻¹ en sistemas de labranza convencional y de conservación. Sin embargo, estos mismos autores encontraron que después de cinco años de haber mantenido el suelo bajo labranza cero, la acumulación de residuos y la aplicación de fertilizante favorecieron en este sistema la actividad enzimática, induciendo una mayor mineralización y absorción de N, lo que se vio reflejado en mayores RFV y RMS que en los sistemas labranza convencional y en el de mínima labranza.

Las variedades de avena evaluadas en el presente trabajo mostraron un comportamiento diferencial a los sistemas de labranza. Tal fue el caso de Turquesa en el sistema de SDCR, en donde la presencia de rastrojo redujo la emergencia, lo cual provocó una baja densidad de población la cual no fue compensada por un mayor número de macollos por planta dando como resultado menor producción de forraje en comparación con los sistemas sin rastrojo (SC y SDSR). Contrariamente, en Avemex y Obsidiana se observó mayor vigor inicial en la etapa de emergencia (datos no mostrados), superando la barrera física impuesta por el rastrojo de la cosecha anterior y gracias a ello mantuvieron mayor número de plantas después de la emergencia.

La presencia de rastrojo sobre el suelo puede ser una desventaja cuando se realiza siembra directa sobre todo en condiciones invernales por lo que se puede optar por incrementar la densidad de siembra y elegir variedades que sean más tolerantes a este tipo de estrés (Sayre, 2004). Por otra parte (Govaerts *et al.*, 2005) mencionan que dejar el rastrojo sobre el suelo es fundamental para las prácticas de siembra directa; sin embargo, señalan que debe transcurrir un periodo de aproximadamente 5 años, para que los beneficios sean evidentes. Después de ese periodo de tiempo se logra mineralizar mayor proporción de N proveniente de la materia orgánica del rastrojo, dando como resultado mejores respuestas a la fertilización nitrogenada y mayor estabilidad en los rendimientos en los sistemas de siembra directa con retención de rastrojo que en los

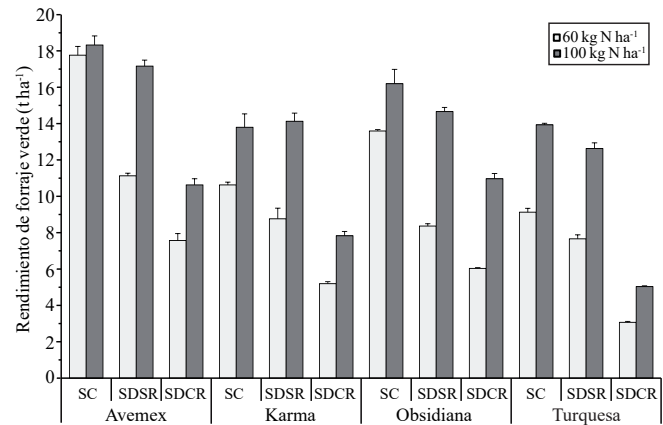


Figura 1. Rendimiento de forraje verde (RFV) en cuatro variedades de avena evaluadas en tres sistemas de labranza (SC= siembra convencional; SDSR= siembra directa sin rastrojo; SDCR= siembra directa con rastrojo) y dos niveles de nitrógeno, en Toluca, México.

Figure 1. Green fodder yield (RFV) in four varieties of oat, evaluated in three tillage systems (SC= conventional planting; SDSR= no-till farming without stubble; SDCR= no-till farming with stubble) and two levels of nitrogen, in Toluca, Mexico.

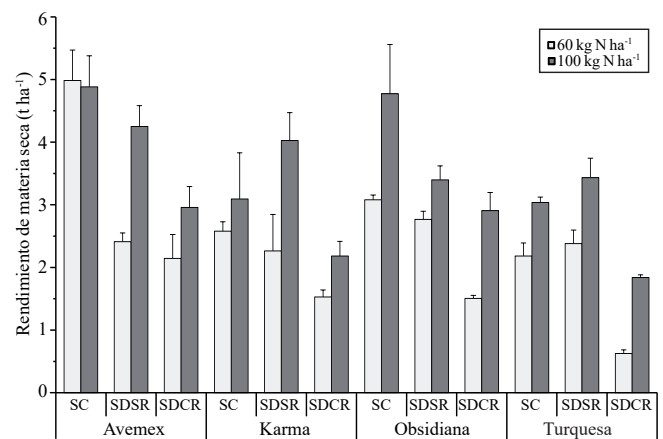


Figura 2. Rendimiento de materia seca (RMS) en cuatro variedades de avena evaluadas en tres sistemas de labranza (SC= siembra convencional; SDSR= siembra directa sin rastrojo; SDCR= siembra directa con rastrojo) y dos niveles de nitrógeno, en Toluca, México.

Figure 2. Dry matter yield (RMS) in four varieties of oat, evaluated in three tillage systems (SC= conventional planting; SDSR= no-till farming without stubble; SDCR= no-till farming with stubble) and two levels of nitrogen, in Toluca, Mexico.

Oat varieties evaluated in this study showed a differential behavior to tillage systems. Such was the case of Turquoise, in the system of SDCR, where the presence of stubble

sistemas de labranza convencional. Lo anterior explica los menores rendimientos de materia seca observados en el SDCR ya que para el caso del presente estudio solo había transcurrido un año desde que se mantuvo el suelo con la cubierta de rastrojo de avena y luego de maíz, por lo que en esta etapa del experimento no fue posible observar los efectos benéficos que tiene la cubierta de rastrojo sobre el suelo.

Calidad nutricional

No se detectaron cambios significativos ($p > 0.05$) en la mayoría de los atributos relacionados con la calidad nutricional del forraje (Cuadro 4), excepto para el caso de los contenidos de fibra detergente ácido (FDA) y proteína cruda (PC) en donde al aumentar la dosis de N de 60 a 100 kg ha⁻¹ se incrementaron significativamente ($p \leq 0.05$) en 3.2% y 15.2% respectivamente, mientras que el contenido de cenizas (CEN) se redujo 9% (Cuadro 5). Flores *et al.* (2008) tampoco observaron efectos significativos en la calidad nutricional de avena al comparar diversos tratamientos de fertilización con biosólidos y agua residual. Por otra parte, cabe señalar que debido a la etapa en que se cosechó el forraje (grano lechoso-masoso) la proporción de la pared celular de las plantas se incrementó, además de que se redujo la proporción de hojas con relación al tallo, de tal manera que los contenidos de FDN estuvieron por arriba de (55%) lo que podría ser inadecuado para alimentar animales de alta producción como vacas lecheras, sin embargo si sería adecuado para animales con menos requerimientos en su dieta como ganado de carne y vacas vacías.

Resultados similares encontraron Lozano *et al.* (2002) cuando cosecharon triticale y avena en etapas avanzadas. Sin embargo, los valores registrados para ambos niveles de nitrógeno (Cuadro 5) permiten afirmar que el forraje es de buena calidad, dado que no rebasan el límite de fibra detergente ácido (32%). El incremento en FDN con la dosis de 100 kg de N ha⁻¹ se vio reflejado en una reducción en el valor alimenticio relativo (VAR), no obstante, con ambos niveles de nitrógeno los valores de VAR se ubicaron en el rango que se considera a los forrajes de buena calidad (VAR > 100). Lo anterior coincide con Lauriault y Kirksey (2004) quienes observaron mayores rendimientos de forraje en avena al elevar la dosis con calidad nutricional baja ligeramente.

reduced emergence, causing low density of population which was not compensated by a greater number of tillers per plant, resulting in lower forage production in comparison to systems without stubble (SC and SDSR). Contrarily in Avemex and Obsidian was observed a greater initial vigor in the emergence (data not shown), exceeding the physical barrier imposed by the stubble of the previous crop and thanks to that more plants remained after emergence.

The presence of stubble on the ground can be a disadvantage when no-till farming is done especially in winter conditions so it can be opted to increase seeding density and choose varieties that are more tolerant to this kind of stress (Sayre, 2004). Moreover (Govaerts *et al.*, 2005) mentioned that leaving stubble on the ground is essential for no-till farming; however, note that there must be a period of about 5 years, to see the benefits of this system. After that period of time is achieved the mineralization of a greater proportion of N coming from organic matter of the stubble, resulting in better responses to nitrogen fertilization and higher stability in yields, in no-till systems with retained stubble than in conventional tillage systems. This explains the lower yields of dry matter in SDCR as in the case of this study, only a year had passed since the ground remained covered with oat stubble and then with corn stubble, so at this stage of the experiment was not possible to observe the beneficial effects of the stubble cover on the ground.

Nutritional quality

No significant changes ($p > 0.05$) were detected in most of the attributes related to the nutritional quality of the forage (Table 4), except for the case of the contents of acid detergent fiber (FDA) and crude protein (PC) where increasing the dose of N from 60 to 100 kg ha⁻¹ increased significantly ($p \leq 0.05$) in 3.2% and 15.2% respectively, while ash content (CEN) reduced 9% (Table 5). Flores *et al.* (2008) did not observed significant effects on the nutritional quality of oats when comparing different fertilization treatments with bio solids and wastewater. Moreover, it is noted that due to the stage in which the forage was harvested (milky-dough grain) the proportion of the cell wall of the plants increased, in addition that the proportion of leaves decreased in relation to stem, so that the contents of FDN were above of (55%) which may be unadequate to feed animals of high-producing such as dairy cows, however it would be adequate for animals with less requirements in their diet such as beef cattle and empty cows.

Cuadro 4. Valores de F y su significancia estadística en los análisis de varianza para: fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), contenido de cenizas (CEN), proteína cruda (PC), valor alimenticio relativo (VAR), total de nutrientes digestibles (TND), energía neta de ganancia (ENG) y energía neta de lactancia (ENL).

Table 4. Values of F and its statistical significance in the analysis of variance for: neutral detergent fiber (FDN); acid detergent fiber (FDA); acid detergent lignin (LDA); ash content (CEN); crude protein (PC); relative feed value (VAR); total digestible nutrients (TND); net energy gain (ENG); and net energy lactation (ENL).

FV	GL	FDN	FDA	LDA	CEN	PC	VAR	TND	ENG	ENL
Bloques	2	0.51ns	2.97ns	3.31*	0.46ns	3.89ns	1.48ns	4.95ns	3.48ns	2.61ns
Nitrógeno	1	0.82ns	2.31*	0.98ns	11.14*	163.83**	5.56ns	0.26ns	0.09ns	0.01ns
Error (a)	2	(4107.2)	(584.3)	(2.03)	(91.5)	(37.5)	(64.2)	(3.05)	(0.0016)	(0.0025)
S. de Labranza	2	1.21ns	0.95ns	6.43*	1.25ns	0.4ns	0.63ns	1.54ns	1.88ns	0.75ns
Error (b)	2	(2385.3)	(421.1)	(234.1)	(95.5)	(21.3)	(31.9)	(4.6)	(0.004)	(0.0025)
N*S	2	1.9ns	4.75*	1.12ns	1.03ns	2.21ns	2.45ns	9.79*	6.78*	3.12ns
Error (c)	2	(1518.9)	(693.3)	(20.7)	(183.5)	(177.2)	(93.8)	(4.9)	(0.004)	(0.006)
Variedad	3	0.46ns	0.98ns	0.7ns	1.74ns	2.74*	1.26ns	2.07ns	2.17ns	1.51ns
N*V	3	1.44ns	1.3ns	3.67*	4.19*	2.6*	1.72ns	1.68ns	1.32ns	0.47ns
S*V	6	2.74*	3.48*	2.8*	6.22**	2.43*	2.41*	5.64**	6.03**	2.77**
N*S*V	6	1.45ns	1.93ns	0.52ns	1.85ns	3.16*	1.33ns	2.81*	2.92*	2*
Error (d)	6	(5058.1)	(1885.7)	(77.9)	(503.6)	(699.8)	(297.7)	(15.8)	(0.013)	(0.011)

*, **, = significativo al 1%; ns = no significativo. †valores entre paréntesis corresponden a los cuadrados medios de error.

Cuadro 5. Contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), contenido de cenizas (CEN), proteína cruda (PC), valor alimenticio relativo (VAR), total de nutrientes digestibles (TND), energía neta de ganancia (ENG) y energía neta de lactancia (ENL) en forraje de avena cosechado durante la etapa de grano lechoso masoso en Toluca, México.

Table 5. Contents of neutral detergent fiber (FDN); acid detergent fiber (FDA); acid detergent lignin (LDA); ash content (CEN); crude protein (PC); relative feed value (VAR); total digestible nutrients (TND); net energy gain (ENG); and net energy lactation (ENL); in oat forage harvested during the milky- dough stage in Toluca, Mexico.

	FDN	FDA	LDA	CEN	PC	TND	VAR	ENG	ENL
	(g kg ⁻¹ de materia seca)						(Mcal kg ⁻¹)		
Nitrógeno									
60 kg N ha ⁻¹	578 a	279 b	39.7 a	61.6 a	58.3 b	618 a	113.1 a	0.78 a	1.39 a
100 kg ha ⁻¹	570 a	288 a	38.6 a	55.9 b	77.9 a	616 a	108.3 b	0.77 a	1.39 a
DSH _(0.05)	(12)	(7)	(2.5)	(3.3)	(3)	(4)	(2.9)	(0.01)	(0.01)
Sistema de labranza									
SDCR	567 a	288 a	36.9 b	60.2 a	65.1 a	620 a	110.8 a	0.78 a	1.4 a
SDSR	568 a	282 a	39.1 ab	57.3 a	65.6 a	619 ab	110.1 a	0.77 ab	1.39 a
SC	557 a	288 a	41.5 a	59.6 a	64.1 a	612 b	111.1 a	0.76 b	1.38 a
DSH _(0.05)	(3)	(9)	(3.7)	(5.1)	(4.4)	(6)	(4.9)	(0.02)	(0.02)
Variedad									
Avemex	557 a	278 a	38.3 a	60.5 a	66.7 a	62.1 a	112.7 a	0.79 a	1.4 a
Turquesa	567 a	285 a	38.4 a	59.8 a	67.6 a	61.6 a	110.1 a	0.77 a	1.39 a
Obsidiana	567 a	287 a	40.1 a	59.4 a	62.3 a	61.4 a	108.2 a	0.77 a	1.38 a
Karma	561 a	283 a	39.4 a	55.1 a	63.6 a	61.8 a	112.1 a	0.78 a	1.38 a
DSH _(0.05)	(24)	(12)	(4.7)	(6.3)	(5.6)	(0.8)	(6.3)	(0.02)	(0.02)

Medias con la misma letra dentro de cada factor de estudio no difieren entre sí (DMS 0.05).

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tres sistemas de labranza para LDA (Cuadro 4), en donde el sistema de siembra convencional (SC) obtuvo el valor más alto comparado con los dos sistemas de siembra directa sin y con rastrojo (SDSR y SDCR) lo cual permite constatar que los sistemas de siembra directa ayudan a bajar de alguna forma el contenido de ligninas y esto permite a su vez la digestión de la fibra y proteína. Mientras para TND y ENG los máximos promedios se obtuvieron con SDCR seguido por SDSR y los más bajos los tuvo SC (Cuadro 5). No se presentaron cambios significativos ($p \leq 0.05$) por efecto de las variedades en ninguno de los componentes químicos. Sin embargo, con base en los valores de VAR que pasan de 100, se puede calificar el forraje de las cuatro variedades como de buena calidad, considerando que a medida que aumentan las concentraciones de FDN y FDA se reduce el VAR teniéndose menor consumo y digestibilidad en los rumiantes (Zamora, 2002).

Conclusiones

Los sistemas de labranza y la fertilización nitrogenada influyeron directamente en el rendimiento de forraje de avena. Con la labranza convencional y la siembra directa sin rastrojo se obtuvieron los máximos rendimientos de forraje verde y materia seca. Con la mayor dosis de nitrógeno (100 kg ha^{-1}) se incrementó la producción de materia seca de la avena a través de un mayor peso y número de macollos. Las variedades de avena evaluadas mostraron poca variación para rendimiento y calidad nutricional de forraje, pero respondieron en forma diferente a los cambios en el sistema de labranza y disponibilidad de nitrógeno. La variedad Avemex mostró mejor comportamiento promedio a través de los sistemas de labranza, teniendo mayor capacidad de amacollamiento y alta producción de biomasa mientras que Turquesa resultó menos apta para manejarse en los dos sistemas de siembra directa. La mayor disponibilidad de nitrógeno aumentó la concentración de proteína en el forraje pero incrementó los contenidos de fibra; sin embargo de acuerdo al valor alimenticio relativo ($\text{VAR} > 100$) en la mayoría de los tratamientos se obtuvo forraje de buena calidad nutricional. En los valles altos del estado de México la siembra directa sobre camas permanentes representa una alternativa sostenible para la producción de forraje de avena de buena calidad.

Similar results were found by Lozano *et al.* (2002) when harvested triticale and oats in advanced stages. However registered values for both levels of nitrogen (Table 5) support the conclusion that the forage is of good quality, since it does not exceed the limit of acid detergent fiber (32%). The increase in FND with the dose of 100 kg N ha^{-1} was reflected in a reduction in the relative feed value (VAR), however, with both levels of nitrogen the values of VAR were in the range that is considered a good quality forage ($\text{VAR} > 100$). This coincides with Lauriault and Kirksey (2004) who observed higher yields of forage in oat by increasing the dose with slightly low nutritional quality.

(Table 4), where conventional planting system (SC) had the highest value compared with the two no-till farming systems with and without stubble (SDSR and SDCR) which allowed to confirm that no-till farming systems help to lower somehow lignin content, and this in turn allows the digestion of fiber and protein. As for TND and ENG maximum averages were obtained with SDCR followed by SDSR and the lowest was SC (Table 5). There were no significant changes ($p \leq 0.05$) by effect of varieties in any of the chemical components. However, based on the values of VAR exceeding 100, the forage of the four varieties can be qualified as good quality, whereas increasing the concentrations of FDN and FDA, VAR is reduced having lower intake and digestibility in ruminants (Zamora, 2002).

Conclusions

Tillage systems and nitrogen fertilization influenced directly the forage yield of oat. With conventional tillage and no-till farming without stubble obtained maximum yields of green fodder and dry matter. With the highest dose of nitrogen (100 kg ha^{-1}) the production of dry matter increased through greater weight and number of tillers. Oat varieties showed little variation for yield and nutritional quality of forage, but responded differently to changes in the system of tillage and nitrogen availability.

Avemex showed the best average behavior across tillage systems, with greater tillering capacity and high biomass production while Turquoise was less apt to be handled in the two tillage systems. The higher availability of nitrogen increased the concentration of protein in forage but increased fiber content; however according to relative feed value

Agradecimientos

Proyecto financiado por el Grupo PRODUCE estado de México, A. C. Clave: 15-2008-093. El primer autor expresa su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México, Por la beca otorgada para realizar los estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de México.

Literatura citada

- Agustín, G. A. 2007. Monografía de la avena (*Avena sativa* L.). Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Folleto Técnico. 22 p.
- Deen, W. and Kataki, P. K. 2003. Carbon sequestration in a long-term conventional *versus* conservation tillage experiment. *Soil Tillage Res.* 74:143-150.
- Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H.; Huerta, E. J.; Salmerón, Z. J.; González, I. R. y Osorio, A. L. 2007. Obsidiana, Variedad de avena para la producción de grano y Forraje en México. *Agríc. Téc. Méx.* 33:95-98.
- Flores, M. J. P.; Sapién, M. G.; Corral, D. B. y Figueroa, V. U. 2008. Calidad nutricional de avena forrajera en suelos tratados con biosólidos y agua residual en el Valle de Juárez, Chihuahua. *Ciencia y Tecnología de la UACJ.* 6:107-117
- Fontanetto, K. H. O.; García, F. y Ciampitti I. 2008. Fertilización nitrogenada en avena. *Informaciones Agronómicas Hispano Americanas. Int. Plant Nut. Institute.* 38:25-26
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 246 p.
- Gómez, K. A. and Gómez, A. A. 1984. *Procedures For Agricultural Research*, 2nd Edition. 704 p.
- Govaerts, B.; Sayre, D. K. and Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? *Field Crops Res.* 94:33-42.
- Govaerts, B.; Sayre, D. K.; Goudeseune, B.; De-Corte, P.; Lichter, K.; Dendooven, L. and Deckers, J. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican Highlands. *Soil Tillage Res.* 103:222-230.
- Govaerts, B.; Sayre, D. K.; Lichter, K.; Dendooven, L. and Deckers, J. 2007. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in fed maize/wheat systems. *Plant Soil.* 291:39-54.
- Lauriault, L. M. and Kirksey, R. E. 2004. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass-legume intercrops in the southern High Plains, USA. *Agron. J.* 96:352-358.
- (VAR> 100) in most treatments was obtained forage of good nutritional quality. No-till farming on permanent beds represents a sustainable alternative for the production of oat forage of good quality, in the high valleys of the state of Mexico.

End of the English version



- Lichter, K.; Govaerts, B.; Six, J.; Sayre, D. K.; Deckers, J. and Dendooven, L. 2008. Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in a permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico. *Plant Soil.* 305:237-252.
- Lozano, R. A. J.; Rodríguez, H. S. A.; Díaz, S. H.; Fuentes, R. J. M.; Fernández, B. J. M.; Narváez, M. J. M. F. y Zamora V. V. M. 2002. Producción de forraje y calidad nutritiva en mezclas de triticale (*X Triticosecale Wittmack*) y ballico anual (*Lolium multiflorum* L.) en Navidad, N.L. *Téc. Pec. Méx.* 40:17-35.
- Martínez, G. M. A. y Jasso, C. C. 2005. Rotación maíz-avena forrajera con labranza de conservación en el altiplano de San Luis Potosí México. *Terra Latinoamericana.* 23:257-263.
- Minson, D. J. 1990. Forage in ruminant nutrition. USA. Academic Press. 483 p.
- Salazar-Sosa, E.; Beltrán- Morales, A.; Fortis Hernández, H.; Leos-Rodríguez, J. A.; Cueto-Wong, J. A. y Vázquez- Vázquez, C. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de biomasa de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana.* 21(4):561-567.
- Sayre, D. K. 2004. Raised-bed cultivation. *In: Lal, R. (Ed.). Encyclopedia of soil science.* Marcel Dekker, Inc. New York. 1600 p.
- Sisti, C. P. J.; Santos, H. P.; Kohmann, R.; Álvés, B. J. R.; Urquiaga, S. and Boddey, R. M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 76:39-58.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E. y Huerta, E. J. 2003. El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y aportaciones. *In: 60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México.* INIFAP, CICE, CEVAMEX. Chapingo, Estado de México. Publicación especial Núm. 1. 17-30 pp.
- Zadoks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.
- Zamora, V. V. M.; Lozano, R. A. J.; López, B. A.; Reyes, V. M. H.; Díaz, S. H.; Martínez, R. J. M. y Fuentes, R. J. M. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de metería seca y calidad nutritiva en dos Localidades de Coahuila. *Téc. Pec. Méx.* 40:229-242.