UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

IMPACTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRICIONAL DE FORRAJE DE AVENA

T E S I S

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

PRESENTA:

HERNÁN GIL GIL

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Abril de 2014.

DEDICATORIA

Con agradecimiento y respeto a mis padres:

Rosendo Gil Damián y Susana Gil Barrera, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Con mucho cariño a mis hermanos:

Lorena, Roman y Abigail por estar conmigo y apoyarme siempre.

Finalmente a los maestros

Aquellos que han marcado cada etapa de mi camino universitario, y que me ayudaron en tropiezos y dudas presentadas en la elaboración de la tesis y especialmente al Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda por su gran apoyo, motivación y tiempo comprendido para la elaboración y culminación de esta tesis

RESUMEN

En los valles altos del Estado de México, especialmente el valle de Toluca, el cultivo de avena ha sido una opción para la producción de forraje de avena de temporal bajo condiciones de labranza convencional. Sin embargo, se ha hecho poco esfuerzo por usar métodos de siembra directa o de conservación como lo son las camas permanentes. Con base a lo anterior, se realizó el presenta trabajo con el objetivo de evaluar 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, calidad nutricional y un análisis económico para determinar el margen de utilidad de cuatro variedades de avena forrajera (Avemex, Obsidiana, Karma y Turquesa). El trabajo experimental se llevó a cabo en Toluca, México durante el ciclo invierno-primavera 2009-2010 bajo un diseño de franjas subdividas con tres repeticiones. Los sistemas de labranza y dosis de fertilización influyeron directamente sobre el rendimiento de forraje. Donde los máximos rendimientos se obtuvieron en los sistemas de SC y SDSR así como de forraje verde. Y al incrementar el nivel de N se elevó considerablemente el rendimiento de forraje verde y materia seca. Sin embargo, del análisis económico se observó que los costos de producción fueron muy variables, quedando en primer lugar el sistema SDSR con los costos más bajos, siguiéndolo el sistema el sistema SDCR y con los costos más elevados el sistema de SC. Aunque los sistemas de siembra directa no tuvieron altos rendimientos de materia seca, al menos el sistema SDSR mostró mayor utilidad bruta en comparación con el sistema de SC. Lo cual explica que los sistemas de SDSR y SDCR tengan un mayor margen de utilidad bruta comparado con el sistema de SC. 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.

Palabras clave: Siembra directa; Rendimiento de forraje; Nitrógeno; Calidad nutricional; Utilidad bruta.

ABSTRACT

In the high valleys of the State of Mexico, especially the Toluca valley, oat has been an option for production of forage under rainfeed conventional tillage. However, little effort has been made to use methods of conservation tillage such as permanent beds. Based on the above, the present work was carry out in order to evaluate the effect of tillage system conventional tillage (CT), no tillage with stubble (NTS), no tillage direct seed without stubble (NTDS) and two nitrogen rates (60 and 100 kg N ha^{-1}), on forage yield and nutritional quality of four oats cultivars (Avemex, Obsidiana Turquesa and Karma). The experimental work was conducted in Toluca, Mexico during the 2009-2010 winter-spring season under a strip split plot design with three replications. Tillage systems and fertilization directly influenced forage yield. Where maximum yields were obtained in CT systems and NTDS and green fodder. High rate of N significantly raised the yield of green fodder and dry matter. However, the economic analysis showed that production costs were highly variable, being first the NTDS with the lowest costs, following him NTS system the system and higher costs SC system. Although no-till systems had high dry matter yields at least the NTDS system showed higher gross profit compared to the SC system. This explains why the NTDS and NTS systems have a higher gross profit margin compared to the SC system. The varieties evaluated showed little variation for yield and nutritional quality of forage, but responded differently to changes in the system of tillage and N rate, Avemex shown the best average behavior across the three tillage systems, while Turquesa showed bad adaptation to no tillage systems. The increase in N rate was expressed in higher concentrations of protein and fiber, having good nutritional quality in forage harvested at all treatments assayed.

Key words: Direct seeding; Forage yield; Nitrogen; Nutritional quality; gross profit

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y a la Universidad Autónoma del Estado de México por todas las facilidades que me han brindado para mi formación Académica.

Al Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda quien me ha permitido trabajar con él así como el apoyo, esfuerzo, empeño, dedicación y entusiasmo otorgado para el direccionamiento de este trabajo de investigación; al Dr. Gaspar Estrada Campuzano por su apoyo en los momentos que lo he requerido y a todos aquellos profesores, trabajadores administrativos y alumnos de la Facultad de Ciencias Agrícolas que de alguna forma fueron participes en el desarrollo de este trabajo.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en la UAEMex.

CONTENIDO

DEDICATORIA ii
RESUMEN iii
ABSTRACT iv
AGRADECIMIENTOS v
CONTENIDO vi
LISTA DE CUADROS ix
LISTA DE FIGURAS x
I INTRODUCCIÓN GENERAL 1
II REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1 Agricultura convencional 3
2.2 Agricultura de conservación 4
2.2.1 Principales razones para utilizar los sistemas de labranza de conservación 4
2.2.2 Efectos de la Siembra Directa 5
2.2.3 Situación general de la siembra directa en el mundo 5
2.2.4 Beneficios de los sistemas de siembra directa 7
2.3 Las leyes de la diminución de la productividad de los suelos 7
2.4 Ventajas de la agricultura de conservación 8
2.5 Desventajas de la agricultura de conservación 9
2.6 Camas permanentes 10
2.7 Nuevos enfoques (paradigmas) en la producción agrícola 11
2.8 Aspectos generales del cultivo de avena 12
2.8.1 Morfología y adaptación 12
2.8.2 Importancia del cultivo de avena en México 13
2.8.3 Avena forrajera 14
2.8.4 Valor nutricional de la avena 14
2.8.5 Producción de materia seca 15
2.9 Calidad nutricional en forrajes 16
2.9.1 Proteína cruda (PC) 16

2.9.2 Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) 16
2.9.3 Ligninas 17
2.9.4 Digestibilidad 17
2.9.5 Valor Relativo del Forraje (VRF) 17
2.10 Fertilización nitrogenada 18
III JUSTIFICACIÓN 19
IV HIPÓTESIS 20
V OBJETIVOS 20
VI MATERIAL Y MÉTODO 21
6.1 Ubicación el trabajo experimental 21
6.2 Preparación del terreno 21
6.3 Establecimiento y manejo del trabajo experimental 22
6.4 Material genético 23
6.5 Variables de estudio y análisis estadístico 23
6.5.1 Producción de forraje y materia seca 23
3.6.2 Asignación de materia seca 24
6.4 Contenido nutricional del forraje de avena 24
6.5 Análisis estadístico 29
VII RESULTADOS 30
7.1 Acuse de recibido del artículo enviado 30
7.2 Aceptación del Artículo en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 31
7.3 Artículo enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 32
7.3.1 Introducción 34
7.3.2 Materiales y métodos 35
7.3.3 Resultados y discusión 39
7.3.4 Conclusiones 49
7.3.5 Agradecimientos 49
7.3.6 Literatura citada 50
7.4 Artículo por enviar: 53
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL EFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA SOBRE EL RENDIMIENTO DE FORRAJE DE AVENA 53

7.4.1 Introducción 55

7.4.2 Materiales y métodos 56

7.4.3 Resultados y Discusión 59

7.4.4 Conclusiones 67

7.4.5 Literatura citada 67

VIII DISCUSIÓN GENERAL 69

IX CONCLUSIÓNES GENERALES 74

X REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Superficie total bajo siembra directa en diferentes países (hectáreas) 6
Cuadro 2 Enfoques antiguos y actuales de producción agrícola. 12
Cuadro 3 Composición química de la avena verde en la época de floración. 15
Cuadro 4 Denominación, origen y genealogía (cruza) del material genético utilizado. 23
Cuadro 5 Resumen mensual de temperaturas y precipitación durante el ciclo invierno-primavera 2009-2010, en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México. 40
Cuadro 6 Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para rendimiento de forraje verde (RFV); número de macollos por m^2 (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 m^2 (RMS) en avena forrajera cultivada en Toluca, México. 41
Cuadro 7 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 m^2 (NT) y rendimiento de materia seca por m^2 (RMS) en avena forrajera cultivada en Toluca, México. 42
Cuadro 8 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). 43
Cuadro 9 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 44
Cuadro 10 Valores de F y su significancia estadística en el análisis de varianza el rendimiento de materia seca en el Valle de Toluca, México. 62
Cuadro 11 Rendimiento de materia seca en avena forrajera cultivada en Toluca, México. 63
Cuadro 12 Costos de producción en pesos por ha de los insumos y labores de tres sistemas de siembra SC, SDCR y SDSR con 60 y 100 kg N ha^{-1} de avena forrajera cultivada en Toluca, México. 64
Cuadro 13 Análisis económico de dos niveles de nitrógeno 60 y 100 kg ha^{-1}, tres sistemas de siembra SC, SDCR y SDSR, y cuatro variedades de avena (Avemex, Turquesa, Obsidiana y Tturquesa), con respecto al Rendimiento de Metería Seca (RMS), Número de Pacas, Ingresos, Costos, Margen de Utilidad Bruta (MUB), Razón de Gasto de operación (GO) y Punto de Equilibrio en Venta (PEV).....66

LISTA DE FIGURAS

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. ...45

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. ...45

Figura 3 Temperatura máxima, mínima y precipitación durante el ciclo del cultivo de la avena, El Cerrillo, México. Diciembre 2009-abril2010. 60

I INTRODUCCIÓN GENERAL

La Avena *(Avena Sativa* L*)* se considera un cultivo alternativo en los Valles Altos del Estado de México, particularmente cuando se retrasa el inicio del período de lluvias o se presentan heladas tardías que ponen en riesgo la siembra de los cultivos tradicionales como maíz y frijol (Villaseñor *et al* 2003). Esta especie tiene un amplio rango de adaptación a las condiciones ambientales; su producción es satisfactoria en regiones altas, frías y lluviosas y de clima semiárido como el norte centro de México (Espitia *et al* 2007). La avena tradicionalmente se utiliza para la alimentación del ganado ya sea como forraje verde, henificado o en ensilado en unicultivo o en asociación con leguminosas forrajeras, mientras que el grano puede destinarse a la alimentación animal o para consumo humano. Al igual que el Trigo (*Triticum aestivum* L.) y el triticale (X *Triticosecale* Wittmack) la avena es un cereal que puede cultivarse bajo condiciones de riego en invierno, ya que es capaz de tolerar las bajas temperaturas en sus primeras etapas de desarrollo.

En el Valle de Toluca México los sistemas de producción agrícola se basan fundamentalmente en el monocultivo de maíz, en donde año con año se hace la preparación de los terrenos para la siembra a través del barbecho y rastreo, además de que se realizan una o dos escardas durante las primeras etapas del cultivo dejándose sobre el suelo una mínima parte de los residuos después de la cosecha. Lo anterior ha ocasionado problemas de erosión, compactación y reducción de la fertilidad de los suelos. Por otra parte el uso excesivo de la maquinaria agrícola incrementa considerablemente los costos de producción haciendo que el cultivo de maíz sea cada vez menos rentable

La producción de forrajes no escapa a dicha problemática por lo que existe la necesidad urgente de implementar mejores prácticas de manejo que permitan hacer un uso más sustentable del suelo. Una alternativa es la agricultura de conservación (AC) que se encarga de reemplazar las prácticas de la agricultura convencional por otras que beneficien al suelo y al mismo tiempo sean más redituables. Se entiende por agricultura de conservación (AC) al conjunto de prácticas que procuran optimizar el uso de los recursos sin deteriorar al medio ambiente, mediante la aplicación de tres principios generales: la incorporación de rastrojos aprovechando los residuos de la cosecha anterior, la siembra directa sin remover el suelo evitando perturbaciones mecánicas y la rotación de cultivos (Martínez y Jasso, 2005; Govaerts *et al.*, 2009), la AC procura mantener o

mejorar la fertilidad del suelo de manera que las generaciones futuras puedan obtener producciones iguales o superiores a las que se obtienen actualmente. En este sentido, los sistemas de siembra directa sobre camas permanentes con residuos de cosecha son variantes de la AC que permiten sembrar cualquier cultivo de grano sin remover o labrar el suelo, sobre los residuos del cultivo anterior.

Los resultados de experimentos realizados en diferentes lugares y condiciones han demostrado que la AC en su versión de camas permanentes con incorporación de rastrojos puede ser utilizada exitosamente para la producción de trigo, con altos rendimientos y menores costos producción (Govaerts *et al*., 2006). Sin embargo, aún no se ha explorado la implementación de este tipo de sistemas para la producción de avena forrajera en invierno, bajo las condiciones de valles altos. En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de cuatro variedades de avena forrajera de valles altos (Avemex, Obsidiana, Karma y Turquesa) bajo tres sistemas de producción: (siembra convencional, siembra directa sin rastrojo y siembra directa con rastrojo) y dos niveles de fertilización nitrogenada (60 y 100 kg N ha^{-1}), para determinar la factibilidad técnica de producir avena forrajera sobre camas permanentes durante la temporada de estiaje invernal en el valle de Toluca, México.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agricultura convencional

La agricultura convencional o tradicional se basa en la labranza del suelo como la operación principal de remover la capa arable previamente a la siembra, la herramienta más ampliamente utilizada para llevar a cabo esta operación es el arado de discos que corta, afloja e invierte total o parcialmente los primeros 15cm de suelo. Generalmente, la labranza convencional implica más de una operación para la preparación del suelo. Así, la mayoría de los suelos manejados bajo una agricultura arable, intensiva y prolongada se degradan constantemente. Esta degradación estructural del suelo resulta en la compactación y en la erosión del suelo. Los procesos de erosión y disminución de la fertilidad del suelo son dramáticos en ambientes cultivados de forma intensiva y se pueden observar en casi todas las regiones agrícolas del mundo. La mecanización de la labranza del suelo, que si bien es cierto permite mayores profundidades de trabajo, hace uso de ciertos implementos como arados, rastras de discos y cultivadores rotativos que a largo plazo tienen efectos muy perjudiciales sobre la estructura del suelo (FAO, 2008).

Bajo estas consideraciones se asume que los sistemas de labranza convencional, que incluyen un intenso y continuo laboreo del suelo, son a menudo responsables de la degradación de los suelos y de la caída en la productividad de los cultivos (Kosmas *et al*., 2001).

Para mejorar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo se han sugerido una serie de innovaciones técnicas, por ejemplo, la rotación de los cultivos, la cual permite romper los ciclos de patógenos del suelo y reducir la presión de malezas (Karlen *et al*., 1994); la reducción de las prácticas de labranza, en combinación con la retención de residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo, que puede propiciar una mayor infiltración de agua e incrementar la cantidad y duración de la humedad disponible durante el crecimiento de los cultivos (Shaver *et al*., 2002), aumentando la eficiencia del uso del agua y reduciendo la erosión del suelo (Johnston *et al*., 2002). De igual forma, la acumulación de los residuos sobre la superficie del suelo forma una barrera natural contra la pérdida de agua por evaporación y conserva la temperatura del suelo.

2.2 Agricultura de conservación

La agricultura de conservación (AC) ha sido ampliamente utilizada en las últimas décadas en varias partes del mundo. Se le considera una valiosa alternativa, ante la agricultura convencional, debido a su potencial para proteger los suelos de la erosión y compactación, para conservar la humedad del suelo, y para reducir los costos de producción. Con la AC se logran importantes ahorros en combustible, mano de obra, maquinaria y otros gastos, debidos principalmente un menor número de labores culturales para la preparación del terreno (Sayre, 2004).

En Grecia, la agricultura de conservación ha sido probada en forma limitada por una minoría de agricultores, sobre una base empírica, o en fase experimental por los institutos de investigación. La investigación hasta ahora ha demostrado que, a pesar de algunos inconvenientes como la maquinaria adecuada, dejar el rastrojo, y los resultados a largo plazo, la AC puede resultar atractiva para los agricultores, ya que puede generar igual o incluso mayor rendimiento que la agricultura convencional y también por su potencial para reducir los costos de producción (Lithourgidis *et al*., 2009).

La labranza de conservación consiste en la aplicación de un sistema que incluye labranza "cero", rotación de cultivos y retención de los residuos de cosecha, lo cual puede tener efectos positivos en zonas subtropicales y tropicales de México, comparados con prácticas agrícolas convencionales, puesto que reduce las fluctuaciones en la humedad y la temperatura (Kladivko, 2001).

2.2.1 Principales razones para utilizar los sistemas de labranza de conservación

Se estima que a nivel mundial se manejan alrededor de 105 millones de ha bajo labranza de conservación. Desde 1987 al 2008 la tecnología ha experimentado un aumento de 74 veces en América Latina, de 670.000 ha a 49,6 millones ha, contra un aumento de apenas 6,5 veces en EE.UU. Las razones más importantes del por qué los agricultores han optado por utilizar este nuevo sistema de producción son: menos trabajo, mayores ingresos, control de la erosión, ambientalmente deseable y mejor nivel de vida.

2.2.2 Efectos de la Siembra Directa

Investigaciones científicas muestran que la siembra directa (SD) en comparación con la labranza convencional, tiene efectos positivos sobre las características químicas, físicas y biológicas del suelo (Kochhann, 1996). Primero porque reduce drásticamente la erosión a valores similares a la regeneración natural del suelo, segundo, porque aumenta la materia orgánica en el suelo, y tercero, porque se registran mayores tasas de infiltración de agua, lo que lleva a una drástica reducción de la erosión del suelo (Roth, 1985).

2.2.3 Situación general de la siembra directa en el mundo

No es fácil describir la expansión de la SD a nivel mundial, pues son pocos los países del mundo que tienen estadísticas anuales y detalladas sobre este sistema e inclusive en muchos países no hay información disponible. En general, las estadísticas sobre SD están basadas en estimaciones salvo en pocos países como los Estados Unidos, donde se dispone de levantamientos anuales y detallados. Es interesante notar, que mientras en los Estados Unidos la siembra directa representa apenas el 44% del área bajo cultivo en labranza conservacionista, en Sudamérica la SD probablemente representa más del 95% del área bajo labranza de conservación (Sayre, 2004).

Otro problema asociado con siembra directa es su definición. Las referencias consultadas no siempre consideran las mismas técnicas cuando se menciona este término. La confusión es aún mayor cuando se hace referencia a labranza conservacionista, ya que existen opiniones muy diversas sobre lo que se entiende por labranza, así como lo que significa conservacionista (Baker, et al., 2009). La siembra directa se define como la operación de siembra de un cultivo comercial sobre surcos no preparados mecánicamente, donde la sembradora lleva un disco dentado (ondulado) que afloja y abre únicamente sobre el surco lo suficiente para que entre la semilla, de modo que se obtenga una buena cobertura y profundidad de siembra, sin ninguna otra preparación mecánica (Phillips y Young, 1973). Se entiende que el suelo permanece cubierto con residuos de cultivos anteriores donde la mayor parte de los residuos permanecen sin remover en la superficie del suelo después de la siembra. Por este motivo, el término siembra directa es más apropiado que el término utilizado por los norteamericanos (no-tillage), sinónimo en castellano de cero labranza. Mientras los surcos sean suficientemente estrechos y los residuos de cultivos anteriores permanezcan en su mayoría en la superficie, no debería ser demasiado exigente el

término "no-tillage" o cero labranza. Se tiene que entender que los residuos de cultivos son factores clave para que la siembra directa funcione (Wayne, 1997).

La siembra directa ha crecido a un ritmo acelerado a nivel mundial. Con 26.5 millones de ha^{-1} EE.UU. es el país donde la siembra directa ha alcanzado la mayor difusión en términos de superficie cultivada, le sigue Argentina y Brasil con 1 millón menos de ha^{-1}, Australia con 17 millones de ha^{-1}, Canadá con 13 millones de ha^{-1}, y Paraguay con 2.4 millones de ha^{-1} y muchos otros con menos de un millón de hectáreas (Cuadro 1).

Cuadro 1 Superficie total bajo siembra directa en diferentes países (hectáreas)

País	**Superficie en ha 2007/ 2008**
EE.UU	26.500.000
Argentina	25.785.000
Brasil	25.502.000
Australia	17.000.000
Canadá	13.481.000
Paraguay	2.400.000
China	1.330.000
Kazajstán	1.300.000
Bolivia	706
Uruguay	655
España	650
Sudáfrica	368
Venezuela	300
Francia	200
Finnlandia	200
Chile	180
Nueva Zelanda	162
Colombia	102
Ucrania	100
Otros (Estimativa)	1.000.000
Total	**116.921.000**

Fuente: Derpsch y Friedrich (2010)

2.2.4 Beneficios de los sistemas de siembra directa

La agricultura de conservación y la siembra directa ofrecen numerosas ventajas que no pueden ser obtenidas con la labranza convencional. Estas ventajas han sido resumidas de la siguiente forma:

1. Menor demanda de mano de obra
2. Ahorro de tiempo para el establecimiento del cultivo
3. Menor desgaste de la maquinaria agrícola
4. Menor gasto de combustible
5. Aumento de la productividad a largo plazo
6. Mejoramiento de la calidad del agua superficial
7. Disminución de la erosión
8. Mayor retención de humedad en el suelo
9. Aumento de la infiltración de agua en el suelo
10. Disminución de la compactación del suelo
11. Mejoramiento de la estructura del suelo
12. Aumento de la vida silvestre
13. Menor emisión de gas carbónico a la atmósfera
14. Reducción de la contaminación del aire

Fuente: International Soil Tillage Research Organization (ISTRO, 1997)

2.3 Las leyes de la diminución de la productividad de los suelos

En la naturaleza existen leyes que rigen la disminución de la productividad de los suelos y que deben ser tomadas en cuenta para mejorar producción agropecuaria. Quién no respeta esas leyes estará promoviendo la degradación del suelo y la pérdida de su productividad. Considerar estas leyes es indispensable si se desea obtener una producción agrícola sustentable (Derpsch *et al*., 2000).

1- Todo sistema de producción agrícola que contribuya a disminuir constantemente los contenidos de materia orgánica del suelo, no es sustentable y tiene como consecuencia el empobrecimiento del suelo y del hombre.
2- Debido a la preparación repetida e intensiva del suelo, la materia orgánica generalmente se mineraliza (disminuye) a tasas mayores que las posibilidades de reposición. Esto ocasiona la reducción de la materia orgánica en el suelo y la disminución gradual del rendimiento de los cultivos a través del tiempo.
3- La preparación repetida e intensiva del suelo, que lo dejan descubierto, así como las fuertes lluvias y vientos que prevalecen sobre el suelo, resultan en erosión hídrica o eólica y en pérdidas de suelo mayores que su regeneración natural. Esto ocasiona la pérdida de nutrimentos y materia orgánica y la disminución del rendimiento de los cultivos a través del tiempo.
4- La preparación repetida e intensiva del suelo produce en general daños a la estructura del suelo y favorece el aumento excesivo de su temperatura, provocando efectos negativos sobre el crecimiento de las raíces, la flora, la fauna (vida del suelo) y humedad del suelo. Esto resulta en la disminución del rendimiento de los cultivos, a través de los años.
5- Todo sistema de producción agrícola en el que ocurren importantes pérdidas de nutrimentos del suelo ya sea por extracción sin reposición como: explotación agrícola, volatilización (quemas) y/o por lixiviación o lavado (barbecho sin cultivo), no es sustentable y tiene como consecuencia el empobrecimiento del suelo y del hombre

Además, la preparación intensiva del suelo provoca el escape rápido del carbono del suelo en forma de gas (dióxido de carbono) a la atmósfera. Esto resulta en emisiones inaceptables de CO_2 en lugar de que el carbono sea depositado en el suelo para mejorar su productividad, por lo que la labranza excesiva del suelo contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global del planeta.

2.4 Ventajas de la agricultura de conservación

Los residuos de cultivos dejados sobre la superficie del suelo inhiben la evaporación y, al mismo tiempo, favorecen una mayor infiltración de agua en el perfil y reduce la erosión. El porcentaje de la lluvia que se infiltra depende de la cantidad de cobertura provista. Además, con los residuos se

logra una cobertura del suelo que contribuye al control en la emergencia de malezas (FAO, 2008).

La cubierta vegetal protege el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, mantiene el suelo bajo sombra y con el más alto nivel de humedad posible y, por ende, propicia el reciclado de los nutrimentos y provoca efectos alelopáticos sobre las malezas. Consecuentemente se reduce el uso de agroquímicos, disminuye el riesgo de contaminación y los costos de producción. Los residuos de rastrojo actúan, además, como una cubierta protectora que atenúa la presión ejercida sobre la superficie del suelo por los tractores y los equipos agrícolas, disminuyendo así problemas de compactación. De igual forma, conserva y mejora los recursos naturales e incrementa la variedad de biota, fauna y flora del suelo sin sacrificar rendimientos a niveles de producción altas (FAO, 2008).

La AC no es una agricultura de bajos rendimientos, al contrario permite rendimientos comparables con la agricultura moderna intensiva, pero de una manera sostenible. Se ha encontrado que los rendimientos tienden a aumentar con el paso de los años y con menores variaciones en los rendimientos a través de los años. La AC permite una reducción de los costos de producción, tiempo y mano de obra, sobre todo en los periodos de alta demanda, tales como la preparación del terreno; en sistemas mecanizados, se reduce los costos de inversión y el mantenimiento de la maquinaria a largo plazo, por lo que con la adopción de la AC, los agricultores ahorran dinero y trabajo, mejorando los sistemas de cultivo y mejorando sus ingresos (FAO, 2008).

2.5 Desventajas de la agricultura de conservación

La limitación más importante cuando se desea iniciar la AC es la falta de conocimientos previos, ya que no existe un prototipo que pudiera generalizarse para todos los ambientes. Las pruebas realizadas y los errores obtenidos por las instituciones o por los propios agricultores son casi siempre la única fuente real de información; el intercambio de experiencias entre productores y técnicos es la estrategia más apropiada para avanzar en el proceso de adopción de la agricultura de conservación (Crovetto, 2002).

Para que un sistema de AC alcance su equilibrio, debe transcurrir un período de transición de entre cinco y siete años ya que en los primeros años, los rendimientos pueden ser inferiores a los

que se obtienen bajo agricultura convencional. A corto plazo, los costos iniciales para el equipo especializado de siembra podrían ser altos; además, la nueva dinámica de la AC requiere habilidades más sofisticadas de manejo, y un proceso de aprendizaje por parte del agricultor (FAO, 2008).

Los agricultores también necesitan entrenamiento, entre otras razones, para comprender la importancia que tiene el dejar los residuos sobre la superficie del suelo aunque estos tengan un alto valor económico como forraje. Dejar los residuos en el campo es fundamental para las prácticas de labranza cero. Sin embargo, puede tomar algún tiempo, aproximadamente 5 años, antes de que los beneficios sean evidentes. Después de eso, la labranza cero con retención de residuos y rotación de cultivos da como resultado mayores rendimientos y más estables (Govaerts *et al*., 2005). El incremento del rendimiento de biomasa en los sistemas de agricultura de conservación significa que eventualmente habrá suficiente cantidad de residuos tanto para forraje como para mantenerse sobre la superficie del suelo (Sayre *et al.*, 2005).

Con frecuencia se enfrenta la resistencia de los agricultores para adoptar las prácticas de manejo de la AC, pues ellos quieren que los efectos sobre su bienestar puedan demostrarse a corto plazo.

Contar con la maquinaria adecuada es esencial. El desarrollo de implementos prototipo para la siembra en camas permanentes con retención de residuos, con aplicación de fertilizantes en banda en camas permanentes para mantener la forma de las camas, ha sido la variable más importante de afrontar. Sin duda, el principal factor que ha limitado la extensión y la adopción del sistema en AC ha sido la falta de implementos apropiados, especialmente el equipo de siembra (Sayre *et al.*, 2005).

2.6 Camas permanentes

Las zonas tropicales y subtropicales densamente pobladas e intensamente cultivadas, han sido propensas a la erosión y a la disminución de la fertilidad del suelo, por lo que la agricultura convencional se considera una práctica insostenible. La AC en su versión de camas permanentes con retención de residuos de los cultivos se ha propuesto como alternativa para la producción en estos sistemas agroecológicos. La práctica de camas permanentes ha sido desarrollada para reducir los costos de producción, conservar los recursos naturales y mantener la fertilidad y

conservación de los suelos y del agua, además, trae consigo beneficios adicionales en comparación con otros sistemas (Sisti *et al*., 2004).

Los sistemas de camas permanentes se han utilizado desde tiempos inmemoriales por los agricultores de diversas partes del mundo. Su origen y uso han sido tradicionalmente asociados con problemas en el manejo de agua, pues proporcionan oportunidades para reducir las repercusiones negativas del exceso de agua en la producción de cultivos o para el riego de cultivos en zonas semiáridas y áridas (Sayre, 2004). Ejemplo de esto son las "chinampas" que se utilizaron en el Valle de México; los "waru warus" utilizado cerca del lago Titicaca en Perú y Bolivia; "los sistemas de camas altas y zanja profunda" en la cuenca del río Pearl en China (Thurston, 1992). En Nigeria, bajo situaciones limitantes de humedad, se ha desarrollado el sistema de microcuencas, que incluye la formación de represas a intervalos regulares a través de los surcos. Estas estructuras ayudan a evitar la escorrentía y aprovechar el agua de lluvia, favoreciendo la infiltración de agua (Netting, 1968).

2.7 Nuevos enfoques (paradigmas) en la producción agrícola

Los sistemas tradicionales de uso agrícola con laboreo intensivo tienen como resultado, la degradación y la pérdida de productividad de los suelos. Esto tiene como consecuencia la pobreza, el éxodo rural, el aumento de poblaciones marginales y los conflictos sociales. Si se pretende generar una posibilidad de sobrevivencia digna en el campo y si se procura practicar una agricultura sostenible, deberá cambiarse el enfoque de uso y manejo del suelo. En el Cuadro 2 se presentan los enfoques antiguos y actuales (paradigmas) y se analizan las consecuencias de estas dos formas de manejo del suelo. (Derpsch *et al*.,2000).

Cuadro 2 Enfoques antiguos y actuales de producción agrícola.

Enfoque antiguo	Enfoque conservacionista
• La preparación del suelo es indispensable para la producción agrícola	• Siembra Directa, la preparación del suelo no es necesaria para la producción agrícola
• Incorporación de los rastrojos con los implementos de preparación del suelo	• Los rastrojos de cultivos se mantienen en la superficie (mulch)
• Suelo desnudo durante semanas y meses	• Cobertura permanente del suelo
• Quema de rastrojos permitida	• Quema de rastrojos prohibida
• Control químico de plagas	• Control preferentemente biológico
• Rotación de cultivos opcional	• Rotación de cultivos obligatoria

2.8 Aspectos generales del cultivo de avena

2.8.1 Morfología y adaptación

La avena (*Avena sativa* L.) es una planta herbácea anual, pertenece a la familia *Poaceae*. Posee una raíz fibrosa; el tallo es hueco con nudos llenos, con una altura de 0.60 m a 1.70 m. las hojas son ovaladas de color verde oscuro de aproximadamente 26 cm de longitud (Sánchez, 1988). La inflorescencia es una panícula compuesta. La flor está envuelta por dos brácteas, la lema y la palea. Al madurar el grano, la lema y la palea permanecen adheridas al grano, formando la cáscara, excepto en la avena desnuda. Las flores primarias dan origen a granos grandes, las secundarias a granos pequeños y las terciarias no producen grano (Robles, 1986). Se adapta a una gran variedad de ambientes y es por ello que se cultiva entre los 0 y 3000 msnm, su temperatura óptima es de 10 a 14°C., sin embargo puede tolerar una temperatura máxima de 31 a 37°C y una mínima de 4.8°C (Sánchez, 1988).

2.8.2 Importancia del cultivo de avena en México

La avena se cultiva en México fundamentalmente para la producción de forraje y en menor proporción para producción de grano. Aproximadamente, el cultivo de avena representa el 4.5 % de la producción total mundial de cereales de grano pequeño, pero es uno de los alimentos más generalizados para la alimentación del ganado (Sánchez, 1988).

La avena forrajera es utilizada básicamente para alimentación de ganado y la avena grano para consumo humano y alimentos balanceados. Se siembra en casi toda la república por ser un cultivo que se adapta a gran diversidad de ambientes, se desenvuelve bien en regiones altas, frías y lluviosas del centro del País y en el clima semiárido del Norte de México. Se le considera como cultivo alternativo en los Valles Altos y en la región semiárida del Norte-Centro de México, particularmente cuando el inicio del período de lluvias se retrasa o se presentan bajas temperaturas que ponen en riesgo la siembra de los cultivos tradicionales de maíz y frijol (Espitia *et al*., 2007).

La avena para grano se siembra casi en su totalidad bajo condiciones de temporal (ciclo verano otoño). Del año 2000 al 2010 el 87.5% de la superficie sembrada de avena correspondió al ciclo verano-otoño (V-O) y el 12.5% al ciclo invierno-primavera (I-P). El sistema de siembra durante ese periodo se basó en un 85.8% en temporal y el restante 14.2% en el riego (predominando el riego en el ciclo I-P). La superficie de avena grano ha disminuido en casi la mitad y la producción en 30% desde los años 80´s. En el año 1983 se alcanzó un máximo de 152 mil hectáreas sembradas y en 1984 un máximo de 186 mil toneladas producidas. Posterior a estos años la siembra y producción de avena disminuyeron y han sido variables. En 2010 se sembraron 76 mil hectáreas de avena grano en el país y se produjeron 130 mil toneladas de este cereal. Representando respectivamente una disminución de 26.9% y 11.9% en relación con el año anterior. El Estado de México ocupa el tercer lugar en la producción de avena grano en el país, entre los años de 2007 a 2010 (Financiera rural, 2010).

2.8.3 Avena forrajera

La avena forrajera ocupa el tercer lugar en producción de veinticuatro cultivos forrajeros de México, con aproximadamente el 9.8% de producción total. La avena forrajera es un cultivo que se siembra principalmente en el ciclo P-V bajo condiciones de temporal y presenta proporciones muy parecidas a las mencionadas para la avena grano. En el ciclo I-P la situación es diferente ya que la superficie de riego es mucho mayor que la de temporal, con una distribución del 89% y el 11% respectivamente, debido a que en los primeros meses del año disminuye la producción de otros forrajes para ganado, los cuales se sustituyen con avena (Financiera rural, 2010).

De acuerdo a su presentación comercial, la avena forrajera se divide en avena forrajera en verde y henificada. La última involucra un proceso de deshidratación, cuyo objeto es reducir el contenido de agua en los forrajes verdes para poder almacenarlos en pacas sin que se fermenten o se enmohezcan. La avena henificada tiene un mayor valor económico que la avena en verde.

En 2009 se sembraron 859 mil hectáreas de avena forrajera en el país y se produjeron 10.6 millones de toneladas. Representando respectivamente una aumento de la superficie de 17.5% y una disminución en la producción de 3.8% en relación con el año anterior. Lo anterior fue reflejo de un mayor índice de siniestralidad de la cosecha, que redujo el rendimiento a 13.8 t ha^{-1} después de haber alcanzado 15.5 t ha^{-1} en 2008. Chihuahua es el principal estado productor de avena forrajera, con el 31.3% de la producción entre los años de 2007 a 2009. Durango es el segundo con el 15.5%, el Estado de México ocupó la tercera posición con el 14.3%. En seguida se ubican Zacatecas y Coahuila con el 13.2% y 5.5%, respectivamente (Financiera Rural, 2010).

2.8.4 Valor nutricional de la avena

Debido a su contenido alimenticio la avena forrajera en la mayor parte del país es utilizada como alimento para ganado. Desde el punto de vista práctico, el valor nutricional de un forraje depende principalmente de su contenido de proteína y carbohidratos, así como el grado en que estén disponibles como principios nutritivos digestibles. Se sabe que un 85 a 90 % aproximadamente del contenido del nitrógeno celular de las plantas forrajeras, es de proteína constituida por aminoácidos (Marin, 1999). Se dice que los cereales tienen muchas características que los hacen útiles para forrajes, dando grandes rendimientos ricos en proteínas, vitaminas y carbohidratos

digestibles y subrayando también que de acuerdo a la palatabilidad de los cereales, se sitúa en primer lugar a la avena, luego la cebada y por último el centeno, (Elizalde y Gallardo, 2003).

Churh y Pond (1990), señalan que la avena es un cereal principalmente valioso como alimento para el ganado por que suministra alta porción en volumen verde y tiene un contenido de proteínas verdaderamente alto. En el Cuadro 3 se muestra la composición de la avena verde durante la época de floración.

Cuadro 3 Composición química de la avena verde en la época de floración.

Componente	Porcentaje (%)
Celulosa	41.2
Materia no nitrogenada	35.6
Agua	14.3
Materias minerales	4.4
Proteínas	2.5
Materia grasa	2.0

Fuente: Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. 2007

2.8.5 Producción de materia seca

La producción de materia seca según datos publicados por Cherney y Marten (1982), Brignall *et al* (1988) y Bocchi *et al* (1996), registran que hay un incremento de la biomasa conforme avanza la madurez fisiológica del cultivo. Así mismo, se ha demostrado que las altas temperaturas inducen a un proceso rápido del crecimiento y en consecuencia una acumulación más rápida de MS, lo que acelera también la biosíntesis de la lignina y la conversión de productos fotosintéticos, dando por resultado la reducción de los metabolitos (aminoácidos, nitratos, carbohidratos) en las células (Van Soest, 1994). La paja es blanda, se recomienda cortar cuando el grano se encuentra en estado lechoso masoso, dado que es cuando posee mayor riqueza de sustancias nutritivas, generalmente se obtienen rendimientos entre 2000 y 4000 kg ha^{-1} de grano y de hasta 40 t ha^{-1} de forraje verde (Márquez, 1985).

Los resultados obtenidos en trabajos realizados por Quiroz (2006) y González (2007) en el valle de Toluca, México, señalan que el rendimiento de forraje está determinado principalmente por la

etapa de corte, observándose mayor rendimiento de materia seca en etapa de antesis, muy similar a lo que encontraron Gil (2008) y Valdez (2006), los cuales mencionan que el mayor rendimiento de forraje y producción de materia seca se obtiene en las etapas de grano lechoso masoso e inicio de llenado de grano. La producción de materia seca en forrajes de avena según datos divulgados por Torres (2009) y González (2010) está determinada principalmente por el número y peso de los tallos, observando los rendimientos más altos en la etapa de grano lechoso-masoso, debido a una mayor acumulación de materia seca en tallos y panículas.

2.9 Calidad nutricional en forrajes

La calidad de forraje en los cereales de grano pequeño cambia marcadamente conforme se avanza hacia su madurez fisiológica. La optimización en la producción y uso de cereales forrajeros de grano pequeño implican la interacción de la variedad, fecha de siembra, fecha de corte y el tipo de forraje deseado.

2.9.1 Proteína cruda (PC)

En general, la energía y los contenidos proteínicos digestibles son comparables a otras especies forrajeras en una misma etapa de la madurez. Sin embargo, la calidad del forraje será afectada por la etapa del crecimiento, de la selección de la especie, y de la disponibilidad de nutrientes. El porcentaje de proteína cruda (PC) y digestibilidad son más altos en etapas de crecimiento tempranas del cultivo, disminuyendo conforme va avanzando el cultivo hacia la madurez fisiológica (Collar y Aksland, 2001).

2.9.2 Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)

El porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) son más altos en etapas avanzadas del cultivo, disminuyendo en consecuencia la digestibilidad a causa de un incremento en la concentración de estos componentes (Collar y Aksland, 2001). Las paredes de la célula son un componente importante que determina calidad, actuando como fracción digestible e indigestible. En este sentido, el contenido de la FDN es una medida de la fracción total de la pared de la célula, regulando la digestibilidad. El contenido de FDA es una medida de la fracción de indigestibilidad, de tal forma que cuando el contenido de la pared de la célula es bajo, el producto, la alimentación y la digestibilidad es creciente en los animales (Juskiw *et al*., 2000).

2.9.3 Ligninas

Los compuestos indigestibles, principalmente lignina y materiales derivados en conjunto, no proporcionan energía al animal. Cuanto mayor es el grado de "lignificación", más difícil resulta para las bacterias del rumen digerir la pared de la célula. El porcentaje de lignina es más bajo en las etapas tempranas del ciclo ontogénico, observándose un incremento conforme se avanza hacia la madurez fisiológica del cultivo (Collar y Aksland, 2001).

2.9.4 Digestibilidad

La digestibilidad de la materia seca disminuye hacia los estadios más avanzados del cultivo, esto como consecuencia de un mayor contenido de fibras no digestibles (Nelson y Moser, 1994). Aunque algunos comparan un contenido más alto de la fibra con una calidad más baja, es realmente la digestibilidad de la fibra lo que determina el verdadero valor del forraje (Collar *et al*., 2005). El factor más importante que determina el contenido de fibra y la digestibilidad de un cereal forrajero es el estado ontogénico del cultivo. El cultivo en etapas vegetativas tempranas es altamente digestible. Sus contenidos de fibra y grado de indigestibilidad vinculados con la lignina son bajos. Mientras que cuando el cultivo progresa hacia la madurez fisiológica, la lignina y los compuestos lignificados aumentan y la digestibilidad cae rápidamente (Collar *et al*., 2005).

2.9.5 Valor Relativo del Forraje (VRF)

El VRF es una estimación relativa que se usa para comparar la calidad de los forrajes donde: se puede calificar la calidad de un forraje como “damasiado bueno” si el valor alimenticio relativo es superior a 180, si los valores son iguales o mayores a 100 indican que son de “buena calidad” nutritiva y si son inferiores a 90 se consideran de “mala calidad” nutritiva en relación con el valor alimenticio relativo de la alfalfa en plena floración Zamora (*et al.*, (2002) y Minson (1990). González (2007) en el valle de Toluca, México encontró valores por arriba por arriba de 115 de dos cultivares de triticale en distintos sistemas de producción (asociación y unicultivo), mientras que Torres (2009) reporta valores menores a 100 en todas sus variedades debido a una mayor concentración de fibras generadas por cultivarse en verano.

2.10 Fertilización nitrogenada

El nitrógeno (N) es considerado el nutrimento más importante para la producción vegetal, por las cantidades requeridas para los cultivos y por la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas, es así que la agricultura de altos rendimientos depende del uso de fertilizantes nitrogenados. Las condiciones económicas del sector agropecuario tanto a nivel mundial como nacional y la necesidad de preservar el ambiente, básicamente los recursos suelo, agua y atmósfera, requieren del uso más eficiente de los nutrientes.

III JUSTIFICACIÓN

En los valles altos del estado de México el maíz se ha venido cultivando desde hace varias décadas empleado métodos convencionales de labranza en donde se hace uso intensivo de la maquinaria agrícola para la preparación del suelo y labores culturales; en muy pocos casos se hace rotación de cultivos y se retira casi la totalidad del rastrojo después de la cosecha. Este tipo de manejo, ha generado un deterioro en la mayoría de los suelos y un incremento de los costos de producción, sin embargo se han propuesto sistemas de siembra más sostenibles como la labranza de conservación basado en la siembra directa y la incorporación de rastrojos que pueden transformar a la agricultura convencional en otra que pueda considerarse competitiva.

Si bien es cierto que la siembra directa ha cobrado auge en los últimos años en algunos lugares de México para la producción de granos (maíz, trigo y cebada), aún hace falta estudiar la factibilidad técnica de producir otros cultivos alternativos de valles altos como la avena forrajera, la cual puede establecerse en el ciclo de invierno, sembrando inmediatamente después de realizar la cosecha de maíz sobre las mismas camas de siembra y aprovechando la humedad residual presente en el suelo. Puesto que este cultivo es capaz de soportar bajas temperaturas en sus primeras etapas de desarrollo, pudiera satisfacer las necesidades de los productores ofreciendo forraje de calidad en la temporada de estiaje. Por otra parte, en la actualidad no se han realizado trabajos de investigación en el valle de Toluca, México, en donde se haya estudiado el impacto de los sistemas de siembra directa con y sin la incorporación de rastrojos para la producción de avena forrajera.

IV HIPÓTESIS

- Los sistemas de la siembra directa sobre camas permanentes, pueden incrementar la productividad del cultivo de avena forrajera en los valles altos del estado de México

- La dosis de fertilización nitrogenada influye directamente sobre el rendimiento y calidad nutricional del cultivo de avena forrajera.

- Las variedades de avena forrajera de valles altos responden de manera diferencial a los sistemas de siembra y a la fertilización nitrogenada.

- Desde el punto de vista técnico y financiero resulta factible la producción de avena forrajera utilizando sistemas de producción basados en la utilización de camas permanentes

V OBJETIVOS

- Evaluar el efecto de tres sistemas de siembra, sobre el rendimiento y calidad nutricional de cuatro variedades de avena forrajera.

- Estudiar el efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre el crecimiento, la determinación del rendimiento y calidad nutricional de forraje en cuatro variedades de avena.

- Comparar las ventajas técnicas y financieras de tres sistemas de producción de avena forrajera utilizando camas permanentes en el estado de México.

VI MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Ubicación el trabajo experimental

El trabajo experimental se llevó a cabo durante la estación de crecimiento invierno-primavera 2009-2010, en los terrenos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, México; localizada a 18 Km. al norte de Toluca. Geográficamente se localiza entre los 99° 41' 01" y 99° 41' 53" de longitud oeste del meridiano de Grenwich y entre los a 19º 24' 03" y los 19° 25' 11" de latitud norte a una altitud de 3675 m.s.n.m.

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%), con poca oscilación térmica, la temperatura media anual es de 12.8°C y precipitación promedio anual 900mm, el tipo de suelo predominante es vertisol pélico de origen volcánico.

6.2 Preparación del terreno

La primer etapa del trabajo consistió en formar las camas de siembra (camas permanentes) para lo cual se buscó un lote de 9000 m^2 manejado con labranza convencional, en el que se realizó la preparación del terreno el 30/01/09, empezando con un paso de rastra, seguido de un subsoleo profundo que rompiera el piso de arado y por último otro paso de rastra. Posteriormente se surcó con una cultivadora a 80 cm para formar las camas de siembra. Una vez hechas las camas el 08/02/09 con una sembradora Modelo 2112C (AITCHISON) se estableció un cultivo de avena (variedad chihuahua) en toda la superficie a una densidad de 100kg de semilla ha^{-1} a doble hilera separadas a 20 cm. Toda la parcela se manejó con cuatro riegos por gravedad (9/02/09), (28/02/09), (21/03/09) y (20/04/09) y una fertilización nitrogenada de 100 kg N ha^{-1} a los 20 días después de la siembra. Cuando el cultivo alcanzó la etapa de embuche el 27/04/09 se cosechó la avena con una cortadora Modelo ZAKB165.

En un segundo ciclo, en toda la parcela sobre las camas de siembra de la avena cosechada del ciclo anterior, sobre los mismos surcos y entre medio de las hileras el 29/04/09 se estableció un cultivo de maíz con una sembradora de labranza de conservación Modelo LC-2002N a una

densidad de 65 mil plantas por hectárea, fertilizando el suelo con 50 kg de urea, 100 kg de súper fosfato de calcio triple y 50 kg de cloruro de potasio. A dicho cultivo se le aplicó una segunda fertilización nitrogenada con 100 kg de urea y la aplicación de herbicida (2-4D-amina combinado con Gesaprin calibre 90) a los 64 dds para eliminar la presencia de malezas de hoja ancha. A los 220 días después de la siembra cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica se cosechó de forma manual y se dividió la parcela experimental en tres franjas (sistemas de siembra), en una de las franjas de 45 surcos se retiró por completo el rastrojo de maíz y se le realizaron las labores tradicionales: rastra, arado rastra y surcado (siembra convencional SC). En la segunda franja de 30 surcos fue retirado por completo el rastrojo de maíz sin remover el suelo (siembra directa sin rastrojo SDSR) y en la tercera franja otros 30 surcos se dejó por completo el residuo de la cosecha maíz y se pasó un rodillo para tirar el rastrojo y dejarlo sobre el suelo (siembra directa con rastrojo SDCR).

6.3 Establecimiento y manejo del trabajo experimental

En un tercer ciclo el 19 de diciembre de 2009 en cada uno de los sistemas se establecieron cuatro variedades de avena (Avemex, Turquesa, Karma y Obsidiana) Cuadro 4, con una sembradora de labranza de conservación Modelo LC-2005-DH N, bajo las condiciones de cada sistema, a una densidad de 100 kg de semilla ha^{-1} a doble hilera distanciadas a 0.20 m en la parte superior de cada surco. En forma perpendicular a la dirección de los surcos se dividió cada franja en tres bloques y cada bloque en dos subbloques en donde se aplicaron dos niveles de nitrógeno N (60 y 100 kg N ha^{-1}), la dosis de fertilización al momento de la siembra fue de 60-60-30 utilizando como fuentes: urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio para bajo nitrógeno (60 kg ha^{-1}) y 40 unidades de nitrógeno más aplicadas en la etapa de encañe en forma manual para las parcelas de alto nitrógeno (100 kg ha^{-1}). Cada parcela experimental constó de seis surcos de cada variedad en cada sistema de 10 m de largo y 0.80 m de ancho (48 m^2). Los tratamientos fueron establecidos bajo un diseño experimental de franjas subdividas con tres repeticiones. En donde la parcela mayor correspondió a la dosis de N (60 y 100 kg N ha^{-1}), la parcela mediana al sistema de producción y la parcela chica a la variedad. Durante el ciclo de cultivo se aplicaron cuatro riegos de auxilio por gravedad (22/12/09), (25/02/10), (10/03/10) y (31/03/10) hasta capacidad de campo. La parcela experimental útil abarcó los ocho metros interiores de los cuatro surcos centrales.

6.4 Material genético

El material genético que se utilizó en el presente estudio consistió en cuatro variedades de avena certificada (Cuadro 4).

Cuadro 4 Denominación, origen y genealogía (cruza) del material genético utilizado.

	Denominación	Origen	Genealogía
1	Turquesa	Variedad comercial	Cruza simple y selección masivo y familias derivadas.
2	Obsidiana	Variedad comercial	TpeXHMF-7114/ENA-IN-N//Jim-ENA/Oji/5/Yuca-Dia"s“
3	Karma	Variedad comercial	8232-CL-9221-Cross y Coli
4	Avemex	Variedad comercial	Selección masas l(PMG-84/84-54)

6.5 Variables de estudio y análisis estadístico

6.5.1 Producción de forraje y materia seca

En cada una de las parcelas experimentales se registró el número de días en que las plantas alcanzaron las siguientes etapas fenológicas:

- **Embuche**: Cuando la hoja bandera de las plantas se encontraba totalmente expandida, pero sin que estuvieran visibles las aristas de la panícula.
- **Antesis**: Esta etapa de desarrollo se determinó, cuando el 50% de las plantas mostraban anteras visibles en sus panículas.
- **Grano lechoso masoso**: Cuando el 50% de las panículas presentan granos que al oprimirlos con los dedos se observaba una consistencia lechosa-masosa en su endospermo.

En cada una de las etapas descritas arriba, se cortó una muestra de plantas dentro de la parte interior de los cuatro surcos centrales de cada parcela útil, el área de cada muestra fue de 0.40 m^2

y se eligió de manera aleatoria dentro de cada parcela con la ayuda de un cuadrante de 0.50 m x 0.80 m. Con el material de cada muestra se procedió a registrar las siguientes variables:

- **Unidades (SPAD)**: con el material de cada muestra se registraron las unidades SPAD a partir de cinco hojas tomadas al azar, con un medidor de clorofila modelo 502™
- **Número de tallos por m^2 (NT):** Se contó el número de tallos producidos en el área muestreada para posteriormente determinar el número de tallos por m^2.
- **Índice de área foliar (IAF):** se determinó de medir el área foliar verde a partir de 25 tallos tomados al azar con un determinador de área foliar Licor modelo LI-3000A.
- **Rendimiento de forraje verde en toneladas por hectárea RFV (t ha^{-1}):** únicamente en la etapa de grano lechoso masoso, de cada parcela útil se cosechó una muestra tomando dos metros lineales de los cuatro surcos centrales de cada parcela (6.40 m^2), y cada muestra se pesó inmediatamente después de cosecharse el peso verde para determinar el rendimiento de forraje verde

3.6.2 Asignación de materia seca

En cada etapa de corte, a partir de una muestra de 25 tallos tomados al azar dentro de cada muestra, se separaron las hojas (sin considerar la vaina), los tallos (incluyendo la vaina de la hoja) y las panículas (solo en antesis y en grano lechoso masoso), posteriormente se secaron por separado en una estufa a 55-60°C por un periodo de 72 horas y se registró el peso seco de cada componente. La relación Hoja/Tallo (RH-T) se obtuvo de dividir el peso seco de las hojas entre el peso seco del tallo.

La materia seca fue determinada mediante el secado de las muestras de forraje dentro de una estufa a una temperatura de 60º ± 5º C por un periodo de 72 horas y en seguida se registró el peso en gramos de cada componente.

6.4 Contenido nutricional del forraje de avena

La calidad del forraje se determinó de las muestras de forraje seco de cada variedad y etapa de corte, estas fueron molidas conjuntamente de manera preliminar en un molino de martillos modelo DPMJUNIOR™ y posteriormente se tomó una submuestra de 200 g de forraje molido, la cual recibió una segunda molienda utilizando un molino electromecánico tipo Willey con malla

del No. 20 para obtener un tamaño de partícula de 0.8-1.0 mm. Las muestras obtenidas de la segunda molienda fueron guardadas e identificadas en recipientes de plástico herméticos y se emplearon para realizar las siguientes determinaciones:

- Cenizas (Cz). Se sometió una muestra de forraje con un peso aproximado a 2 g a incineración dentro de crisoles de porcelana en una mufla a una temperatura de 550-600°C durante tres horas. El porcentaje de cenizas se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{Cz(\%)} = \left[\frac{(\mathbf{Wcz} - \mathbf{Wc})}{(\mathbf{Wms})}\right] \times \mathbf{100}$$

Donde:

Wc = Peso constante del crisol

Wms=Peso de la muestra seca

Wcz=Peso del crisol conteniendo las cenizas

- Proteína cruda (PC). Inicialmente se determinó el contenido de nitrógeno por el método micro Kjeldahl, colocando en un tubo de 200 ml una muestra de 0.20 g de forraje seco envuelto en un trozo de papel al cual se le añadió 3 ml de H_2SO_4 y media pastilla digestora. Una vez realizada la digestión de la muestra se realizó la destilación usando una mezcla de agua destilada (30 ml) y NaOH al 40 % (15 ml). Para determinar el contenido de nitrógeno se realizó la titulación con HCl al 0.1 N, hasta que se obtuvo un viraje de azul a rosa y se registró la cantidad de ml gastados de HCl para obtener el cambio de color. El contenido de nitrógeno se expresó en porcentaje y se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\mathbf{N(\%)} = \left[\frac{(\mathbf{mlg} - \mathbf{mlb}) \times \mathbf{1.401}}{(\mathbf{Wms} \times \mathbf{10})}\right]$$

Donde:

mlg = mililitros gastados en la titulación de la muestra

mlb = mililitros gastados en la titulación del blanco

Wms = Peso seco de la muestra

El contenido de proteína cruda (PC) se obtuvo de multiplicar el porcentaje de nitrógeno por 6.25:

$$\mathbf{PC(\%) = N(\%) \times 6.25}$$

- Fibra detergente neutro (FDN) Se colocaron muestras de 0.5 g en bolsas para determinación de fracciones de fibra Ankom previamente pesadas y se introdujeron en una solución detergente neutro dentro de un digestor de fibras (ANKOM 200 FIBER ANALYZER), por un periodo de 75 minutos, posteriormente se enguajaron tres veces con agua destilada a 90°C y se dejaron en reposo durante 5 minutos, se eliminó el exceso de agua y enseguida se colocaron en una vaso de precipitado con acetona durante 5 minutos y se secaron a la estufa durante 1 hora a 105°C, finalmente se dejaron enfriar en un desecador durante una hora y se pesaron las bolsas de nueva cuenta, para obtener el % de FDN se utilizó la siguiente expresión:

$$\mathbf{FDN(\%)} = \left[\frac{\mathbf{Wbdn} - \left(\mathbf{Wb} \times \left(\frac{\mathbf{Wcod}}{\mathbf{Wbco}} \right) \right)}{\mathbf{Wm}} \right] \times \mathbf{100}$$

Donde:

Wbdn = Peso de la bolsa con muestra, después de la digestión detergente neutro

Wb = Peso original de la bolsa

Wm = Peso de la muestra seca

Wcod = Peso de la bolsa del blanco (sin muestra) después de la digestión DN

Wbco = Peso de la bolsa del blanco (sin muestra)

- Fibra detergente ácido (FDA) Las bolsas de donde se obtuvo la FDN se sometieron a un proceso de digestión en una solución detergente ácido en el digestor de fibras Ankom (ANKOM 200 FIBER ANALYZER), por un periodo de 90 minutos. Posteriormente se enjuagaron tres veces con agua destilada a 90°C y se dejaron en reposo durante 5 minutos, se eliminó el exceso de agua y se colocaron en una vaso de precipitado con acetona durante 5 minutos, posteriormente se secaron a la estufa por 1 hora a 105°C y finalmente se dejaron enfriar en desecador una hora y se pesaron las bolsas de nueva cuenta, para obtener el % de FDA tal como se describe a continuación:

$$\mathbf{FDN(\%)} = \left[\frac{\mathbf{Wbda} - \left(\mathbf{Wb} \times \left(\frac{\mathbf{Wcod}}{\mathbf{Wbco}} \right) \right)}{\mathbf{Wm}} \right] \times \mathbf{100}$$

Donde:

Wbda = Peso de la bolsa con muestra, después de la digestión detergente ácido

Wb = Peso original de la bolsa

Wm = Peso de la muestra seca

Wcod = Peso de la bolsa del blanco (sin muestra) después de la digestión DA

Wbco = Peso de la bolsa del blanco (sin muestra)

- Lignina detergente ácido (LDA). Para la determinación de ligninas se sometió el residuo de la FDA (una vez pesado), a una solución de H_2SO_4 al 72% para eliminar la celulosa, la proteína y todo el material soluble por un período de 90 minutos. Posteriormente se enjuagaron varias veces con agua destilada a 90°C, hasta que la solución de agua alcanzó un pH cercano a 7, y se dejaron en reposo durante 5 minutos, se eliminó el exceso de agua y enseguida se colocaron en una vaso de precipitado con acetona durante 5 minutos, se secaron a la estufa

durante una hora a 105°C y finalmente se dejaron enfriar en desecador por un periodo de una hora y se pesaron las bolsas de nueva cuenta, para obtener el % de fibras como se describe a continuación:

$$\mathbf{LDA(\%)} = \left[\frac{\mathbf{Wbd} - \left(\mathbf{Wb} \times \left(\frac{\mathbf{Wcod}}{\mathbf{Wbco}} \right) \right)}{\mathbf{Wm}} \right] \times \mathbf{100}$$

Donde:

Wbd = Peso de la bolsa con muestra, después de la digestión detergente ácido

Wb = Peso original de la bolsa

Wm = Peso de la muestra seca

Wcod = Peso de la bolsa del blanco (sin muestra) después de la digestión DA

Wbco = Peso de la bolsa del blanco (sin muestra)

- Total de nutrientes digestibles (TND)

TND (%) = 81.38 + (PC x 0.36) – (FDA x 0.77)

- Energía neta de lactancia (ENL)

ENL (Mcal kg^{-1}) = [(TND x 0.0245)-0.12]

- Energía neta de ganancia (ENG)

ENG (Mcal kg^{-1}) = [(0.029 x TND) -1.01]

- Valor relativo de forraje (VRF)

VRF = [(88.9 – (0.779 x FDA)) x (120 / FDN)] / 1.29

6.5 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey a un nivel de probabilidad de error del 0.05, bajo un diseño de franjas subdivididas con tres repeticiones. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el uso del paquete estadístico computacional SAS (Stadistical Analysis System) Versión 8.12.

VII RESULTADOS

7.1 Acuse de recibido del artículo enviado

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

México
ISSN: 2007- 0934

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Texcoco, Estado de México, 11 de junio de 2013
Referencia: 296-13

ING. HERNÁN GIL- GIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE MÉXICO
PRESENTE:

Por este medio le agradezco y acuso de recibido el artículo intitulado **"Impacto del sistema de labranza y disponibilidad de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena"**, del cual son autores(as) **Hernán Gil Gil, Carlos G. Martínez Rueda y Gaspar Estrada Campuzano,** que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el autor(a) principal y los coautores(as), no podrán alterarse y quedaran como se envío en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que su contribución será sometida a revisión técnica por los dictaminadores(as) que se designen; en caso de ser aceptada, se le notificará sobre las observaciones correspondientes.

Sin otro particular reciba un cordial saludo.

Atentamente

DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

DMSJ/dpg
Archivo

Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_atm@yahoo.com.mx. Tel. y Fax: 01 595 9212681

7.2 Aceptación del Artículo en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

inifap
ISTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

México
ISSN: 2007- 093-
REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Chapingo, Estado de México, 20 de febrero 2014
Ref.: **298-13**

ING. HERNÁN GIL GIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
PRESENTE:

Por medio de la presente se hace constar que el manuscrito titulado: **"Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena"** del cual son autores(as): **Hernán Gil Gil, Carlos Gustavo Martínez Rueda y Gaspar Estrada Campuzano,** fue aceptado para ser publicado en el Vol. 5 (6) 15 de agosto-30 de septiembre de 2014 de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente

DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

c.c.p. * Archivo
DMSJ/mdpg

Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_atm@yahoo.com.mx. Tel. y Fax: 01 595 9212681

7.3 Artículo enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

IMPACTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y DOSIS DE NITRÓGENO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRICIONAL DE FORRAJE DE AVENA

TILL SYSTEM AND NITROGEN RATE IMPACT ON YIELD AND NUTRITIONAL QUALITY OF OATS FORAGE

Gil-Gil. H[1*]; Martínez-Rueda., C. G.[1*]; Estrada-Campuzano., G.[1]

[1]Centro de Investigación, y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo" Piedras Blancas, Toluca, México. Tel. (722) 2 96 55 18

****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 subdividas 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 en 42% y de materia seca en 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.

Palabras clave: Siembra directa; Rendimiento de forraje; Nitrógeno; Calidad nutricional

Abstract

In the Toluca Valley of México, few efforts have been made to assess the practices used in conservation agriculture approach such as the use of permanent beds with direct seeding. Therefore, we evaluated the effect of three tillage systems: conventional tillage (CT), no tillage with stubble (NTS), no tillage direct seed without stubble (NTDS) and two nitrogen rates (60 and 100 kg N ha^{-1}) on forage yield and nutritional quality of four oats cultivars (Avemex, Obsidiana Turquesa and Karma). The experiment was conducted in Toluca, Mexico during the 2009-2010 winter-spring season using a strip split plot design with three replications. Tillage systems and nitrogen rates directly influenced forage yield. CT and NTDS shown maximum yields of fresh forage (14.17 and 11.81 t ha^{-1}) and dry matter (6.37 and 6.04 t ha ha^{-1}). Higher rate of N increased fresh forage yield by 42% and dry matter by 48%. Oats varieties tested showed low variation for yield and nutritional quality of forage, but responded differently to changes in tillage system and nitrogen availability. Best overall behavior through the three tillage systems was observed in Avemex cultivar, while Turquesa showed low adaptation to direct seeding tillage systems. The increase in N rate was expressed in higher of protein and fiber contents, having good nutritional quality in forage harvested at all treatments assayed.

Key words: Direct seeding; Forage yield; Nitrogen; Nutritional quality

7.3.1 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 un 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 Kataki, 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 aún 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.

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.

7.3.2 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, ubicada en la localidad de El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México, a 19º 17” latitud norte y 99° 39” longitud oeste,

y a una altitud de 3675 m.s.n.m. 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 900mm. 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 $g \cdot cm^{-3}$, 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 Cmol·100g 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 9000 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 30/01/09 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 08/02/09 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 100kg de semilla ha^{-1}. Cuando el cultivo se encontraba en la etapa de embuche el 27/04/09 se cosechó la avena con una cortadora Modelo ZAKB165. En un segundo ciclo el 29/04/09 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 maíz y se pasó un rodillo para tirar el rastrojo y dejarlo sobre el suelo (siembra directa con rastrojo SDCR).

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 aleatoriazadas 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 22/12/2009. 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 subloques, 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 m^2 (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 m^2). Durante el ciclo de crecimiento del cultivo se aplicaron tres riegos de auxilio de auxilio por inundación con intervalos de 0-65-13 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 (2x3x4) se evaluó bajo un diseño de franjas subdividas 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 y 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 el 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 6.40 m^2 (4 surcos de 2 m de largo) elegidos aleatoriamente dentro de la parcela experimental útil. El forraje cosechado 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 x (0.5/PSF). Adicionalmente se cosechó una muestra de 0.40 m^2 dentro de cada parcela útil, de la cual se contó el número de 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 0.8-1.0 mm. Con las submuestras molidas se realizaron los análisis bromatológicos determinándose los siguientes componentes: contenido de cenizas (CZ) por incineración en una mufla a 550º 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 x 6.25); otras variables que se estimaron fueron: total de nutrientes digestibles [TND(%)=81.38 + (PC x 0.36) – (FDAx0.77) y valor alimenticio relativo [VAR=(88.9 – (0.779 x FDA)) x (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 (Gomez y Gomez, 1984).

7.3.3 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 5). La temperatura ambiente promedio durante toda la estación de crecimiento (diciembre 2009 - abril 2010) fue relativamente baja (10.2ºC) con una precipitación total de 168 mm, de los cuales el 90% ocurrió en los meses de enero (40 mm) y febrero (112 mm) (Cuadro 5), por lo que hubo necesidad de aplicar dos riegos los días 10 y 31 de marzo;. Las bajas temperaturas y escaza 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 antesis y llenado de grano que coincide son los meses que el cultivo demanda mayor demanda de agua en el suelo (Agustín, 2007).

Cuadro 5 Resumen mensual de temperaturas y precipitación durante el ciclo invierno-primavera 2009-2010, en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México.

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación
	Máxima	Mínima	Media	(mm)
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	22.0	2.6	11.0	0
Abril	23.2	4.6	13.0	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 6). 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 7). Se encontraron diferencias significativas entre los tres sistemas de labranza ($P\leq0.05$) para RFV, donde el SC superó a SDSR y SDCR con rendimientos de 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 6) pero si para el caso de NM donde SC y SDSR superaron significativamente ($P\leq0.05$) a SDCR (Cuadro 7). 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 ($P\leq0.05$) 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 m^2), superando significativamente a las otras tres variedades, con un rango de 246 a 265 macollos por m^{-2}. 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 7).

Cuadro 6 Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para rendimiento de forraje verde (RFV); número de macollos por m^2 (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 m^2 (RMS) en avena forrajera cultivada en Toluca, México.

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	1.80ns	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 x S	2	2.44ns	0.91ns	0.45ns	2.58ns	1.35ns	0.20ns	1.10ns
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 x V	3	0.38ns	0.12ns	0.25ns	4.09*	0.49ns	0.68ns	1.57ns
S x V	6	1.50ns	1.82ns	1.17ns	1.25ns	0.87ns	0.82ns	5.67**
N x S x V	6	0.77ns	1.75ns	0.35ns	1.44ns	0.94ns	0.40ns	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.

Únicamente hubo efectos significativos ($P \leq 0.05$) para PST en la interacción N x V; y para RMS en las interacciones S x V y N x S x V (Cuadro 6). 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).

Cuadro 7 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 m^2 (NT) y rendimiento de materia seca por m^2 (RMS) en avena forrajera cultivada en Toluca, México.

	PST	PSH	PSP	RH-T	NM	RFV	RMS
Nitrógeno	——— g ———				macollos m^{-2}	——— t ha^{-1} ———	
60 kg N ha^{-1}	1.10 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	1.10 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)

Cuadro 8 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).

FV	g.l.	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	0.40ns	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 x S	2	1.90ns	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	0.70ns	1.74ns	2.74*	1.26ns	2.07ns	2.17ns	1.51ns
N x V	3	1.44ns	1.30ns	3.67*	4.19*	2.60*	1.72ns	1.68ns	1.32ns	0.47ns
S x V	6	2.74*	3.48*	2.80*	6.22**	2.43*	2.41*	5.64**	6.03**	2.77**
N x S x V	6	1.45ns	1.93ns	0.52ns	1.85ns	3.16*	1.33ns	2.81*	2.92*	2.00*
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 9 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

	FDN	FDA	LDA	CEN	PC	TND	VAR	ENG	ENL
	g kg^{-1} MS^{-1}							M cal 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)	(3.0)	(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	1.40 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	1.40 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)

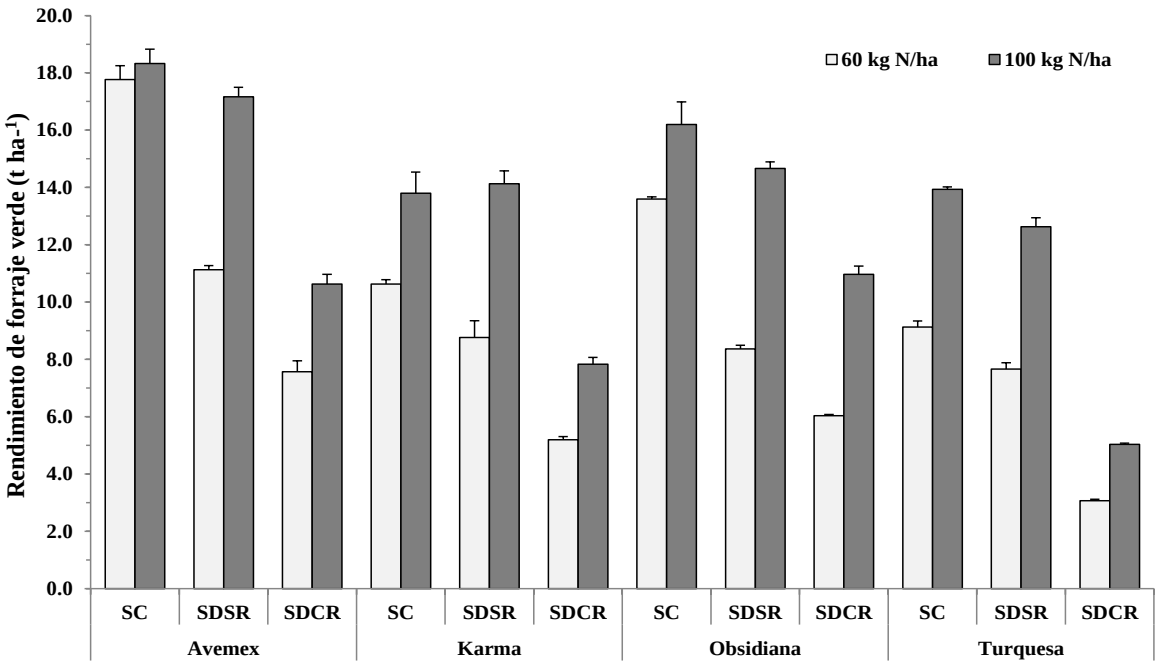

Figura 1 Rendimiento de forraje verde (RFV) en cuatro variedades de avena evaluadas en tres sistemas de labranza (SC=siembra convencional, SDSR=siembra directa sin rastrojo, SDCR=siembra directa con rastrojo) y dos niveles de nitrógeno, en Toluca, México.

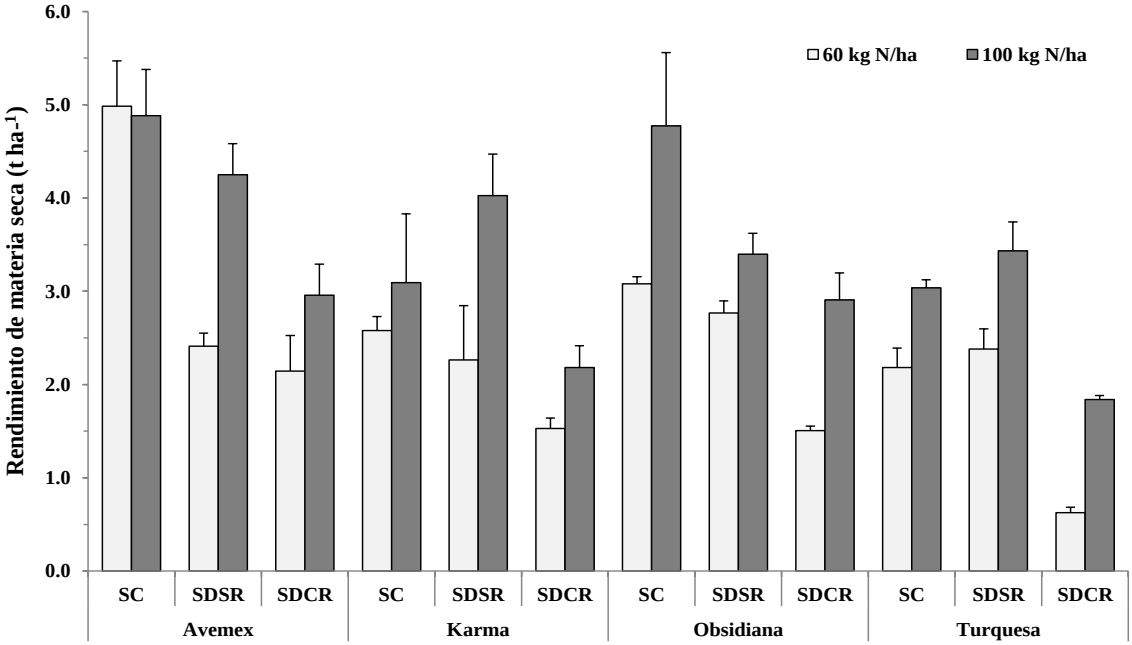

Figura 2 Rendimiento de materia seca (RMS) en cuatro variedades de avena evaluadas en tres sistemas de labranza (SC=siembra convencional, SDSR=siembra directa sin rastrojo, SDCR=siembra directa con rastrojo) y dos niveles de nitrógeno, en Toluca, México.

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, 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 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 8) , 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 en 9% (Cuadro 9). 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 9) 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.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tres sistemas de labranza para LDA (Cuadro 8), 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 9). 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).

7.3.4 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 (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.

7.3.5 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.

7.3.6 Literatura citada

Agustín, G. A. 2007. Monografía de la avena (*Avena sativa L.*). Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla (México) 22 p. (Folleto Técnico).

Deen, W. and Kataki, P. K. 2003. Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. Soil Tillage Resesrch. 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. Agricultura Técnica en México (México) 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, Keller H. O., García F., Ciampitti I. 2008. Fertilización nitrogenada en avena. Informaciones Agronómicas Hispano Americanas, International Plant Nutrition Institute 38:25-26

García, E.1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246p.

Gómez, K. A. and Gómez, A. A. 1984. Procedures For Agricultural Research, 2nd Edition.

Govaerts, B.; Sayre, D. K. and Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? Field Crops Research. 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 Higlands. Soil. Tillage Research. 103:222-230.

Govaerts, B.; Sayre, D. K.; Licher, 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. Agronomy Journal. 96:352-358

Lichter, K.; Govaerts, B; Six, J.; Sayre, K. D.; Deckers, J. and Dendoovn, 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; 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. Técnica Pecuaria en México. 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 (México) 23:257-263

Minson, D. J. 1990. Forage in ruminant nutrition. USA. Academic Press.

Salazar-Sosa, E., Beltrán- Morales A., Fortis Hernández, H., Leos-Rodriguez, J.A., Cueto-Wong, J.A., Vazquez-Vazquez, 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 . P. 1600.

Sisti, C. P. J.; Santos, H. P.; Kohhann, R.; Alves, 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 Research. 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. *En:* 60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México. INIFAP, CICE, CEVAMEX. Chapingo, Estado de México. p 17–30. (Publicación Especial No.1).

Zadoks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. 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. Técnica Pecuaria en México. 40:229-242.

7.4 Artículo por enviar:

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL EFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA SOBRE EL RENDIMIENTO DE FORRAJE DE AVENA

Gil Gil Hernán[1*]; Martínez Rueda Carlos Gustavo[1*]; Estrada Campuzano Gaspar[1]

[1.] Programa de Maestría en Ciencia Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo" Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. C.P. 50200. (hernan_5021@hotmail.com).

[2.] Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad autónoma del Estado de México. Campus Universitario. Campus Universitario "El Cerrillo" Piedras Blancas, Toluca, México. Tel. (722) 2 96 55 18

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento de materia seca y determinar el margen de utilidad bruta y punto de equilibrio en tres sistemas de siembra, dos niveles de fertilización, y cuatro variedades comerciales de avena forrajera bajo condiciones de riego en el valle de Toluca, México. Durante la estación de crecimiento de invierno-primavera 2009-2010 se estudió el efecto de tres sistemas de siembra: siembra convencional (SC), siembra directa con rastrojo (SDCR) y siembra directa sin rastrojo (SDSR) con dos niveles de nitrógeno (60 y 100 kg ha^{-1}) en cuatro variedades de avena forrajera (Avemex, Obsidiana, Karma y Tuerquesa), sobre el rendimiento de materia seca (MS). Además se realizó un análisis económico comparando el punto de equilibrio en unidades producidas de cada sistema de siembra en base a los costos de insumos y precios por el alquiler de las labores. El experimento se condujo bajo un diseño de franjas subdividas con tres repeticiones. En general el rendimiento y materia seca estuvo determinado principalmente por el sistema de siembra usado, dosis de nitrógeno y ligeramente por el tipo de variedad de avena Los sistemas de siembra SC y SDSR mostraron los mayores rendimientos de materia seca (6.37 y 6.04 t ha^{-1}) respectivamente. El rendimiento de materia seca que se incrementó un 48% cuando se aumentó la dosis de N de 60 a 100 kg ha^{-1}. El sistema de siembra que obtuvo un mayor rendimiento fue el sistema de SC seguido por el sistema de SDSR. Sin embargo, los resultados de este estudio mostraron que los costos de producción fueron muy variables, quedando en primer lugar el SDSR con los costos más bajos, siguiéndolo el sistema el sistema SDCR y con los costos más elevados el sistema de SC. Aunque los sistemas de siembra directa no tuvieron altos rendimientos de materia seca, al menos el sistema SDSR mostró mayor utilidad bruta en comparación con el sistema de SC. Lo cual explica que los sistemas de SDSR y SDCR tengan un mayor margen de utilidad bruta comparado con el sistema de SC.

Palabras clave: Avena, Siembra directa, Producción de forraje, Análisis económico.

7.4.1 Introducción

La avena (*Avena sativa* L), es cultivada extensamente bajo condiciones de temporal en el Estado de México debido a que representa una fuente importante de forraje para la alimentación de ganado y constituye una alternativa de los productores temporaleros cuando por el retraso de las lluvias otros cultivos no logran establecerse (Salmerón *et al*., 2003). Este cultivo se establece en sistemas de siembra convencionales en plano sin surcos (Salmerón *et al*., 2003) lo que ha repercutido negativamente en el ambiente como la reducción de la fertilidad y erosión del suelo (Meyer et al., 1999). Cabe señalar que en las últimas décadas se han propuesto alternativas como la labranza de conservación (LC) mediante sistemas de siembra directa por todo el mundo que ayudan a mejorar el suelo, en donde son eliminadas todas de las labores de preparación para realizar la siembra directamente sin perturbar el suelo, que es una de las opciones más viables para lograr la sostenibilidad del suelo así como el rendimiento de cultivos (Derpsch, 1999; Kueneman *et al*.,2008). A la fecha se tienen algunas limitantes para la adopción de la LC en el valle de Toluca como la baja difusión de esta tecnología, necesidad de maquinaria especializada, empleo de herbicida para control de malezas y sobre todo la utilización de los esquilmos como forraje para el ganado (Martínez 2005). por lo que deben generarse opciones que contemplen sistemas de producción en los cuales se incremente la cantidad de forraje de avena, como lo hace el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMyT que aplica los sistemas de siembra directa para la producción de trigo y cebada en invierno. Lo cual puede ser una excelente opción para la producción de forraje de avena en invierno bajo condiciones de riego, ya que en el valle de Toluca existe escasa información del efecto de sistema de labranza, variedad y etapa fenológica para la cosecha del forraje de avena, debido a que la mayoría de los trabajos (Villaseñor *et al*., 1998) se han enfocado al desarrollo de variedades y al estudio de sus características vegetativas, enfermedades y otros enfocados a la producción de grano y rendimiento de forraje en verano.

En el Valle de Toluca, México las labores agrícolas para la producción de cereales, han generado un deterioro constante del suelo y consecuentemente los rendimientos se han reducido considerablemente. Esto, lógicamente, eleva los costos de producción por las múltiples prácticas de labranza que es lo más caro para la producción de forraje de avena, por lo cual se pretende reducir los gastos de operación mediante el uso de la siembra directa que cada vez se ha estado incrementando en el mundo debido a los ahorros en tiempo e insumos económicos. Es por ello que se pretende generar información para el cultivo de avena en sistemas de siembra directa en invierno así como su utilidad bruta. Tomando en cuenta lo anterior, se realizó el presente trabajo, con el objetivo de evaluar el rendimiento de materia seca y determinar margen de utilidad bruta y punto de equilibrio en los tres sistemas de siembra de cuatro variedades comerciales de avena forrajera, bajo condiciones de riego en el valle de Toluca, México.

7.4.2 Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas ubicada en el municipio de Toluca, México entre las coordenadas 19° 17´ latitud norte y 99° 39´ longitud oeste, a una altitud de 2675 m.s.n.m. El clima predominante es de 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 poca oscilación térmica. La precipitación media anual es de 900 mm, con una temperatura media anual de 14º C. El tipo de suelo predominante es vertisol pélico de origen volcánico. El experimento se realizó en un lote de 9000 m^2 previo al establecimiento del estudio, el área del experimento se había cultivado maíz de primavera-verano bajo labranza convencional (rastrear, barbechar y volver a rastrear). En el 2009.después de la cosecha en dicho lote se inició la preparación del suelo el 30/01/09 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 08/02/09 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 27/04/09 se cosechó la avena con una cortadora Modelo ZAKB165. En un segundo ciclo el 29/04/09 se estableció un cultivo de maíz 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 maíz y se pasó un rodillo para tirar el rastrojo y dejarlo sobre el suelo (siembra directa con rastrojo SDCR).

Establecimiento y manejo del experimento

En un tercer ciclo el 19 de diciembre de 2009 en cada uno de los sistemas de siembra se establecieron cuatro variedades de avena (Avemex, Turquesa, Karma y Obsidiana) con una sembradora de labranza de conservación Modelo LC-2005-DH N, a una densidad de 100 kg de semilla ha^{-1} a doble hilera distanciadas a 0.20 m en la parte superior de cada surco. En donde de forma perpendicular a la dirección de los surcos se dividió en tres bloques y cada bloque en dos niveles de nitrógeno N (60 y 100 kg N ha^{-1}), la dosis de fertilización al momento de la siembra fue de 60-60-30 utilizando como fuentes: urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio para bajo nitrógeno (60 kg ha^{-1}) y 40 unidades de nitrógeno más aplicadas en la etapa de encañe en forma manual para las parcelas de alto nitrógeno (100 kg ha^{-1}). Conformando cada parcela experimental de seis surcos de cada variedad en cada sistema de 10 m de largo y 0.80 m de ancho (48 m^2). Bajo un diseño de franjas subdividas con tres repeticiones. En donde la parcela mayor correspondió a la dosis de N (60 y 100 kg N ha^{-1}), la parcela mediana al sistema de siembra y la parcela chica a la variedad utilizada. Durante el ciclo de desarrollo del

cultivo se aplicaron tres riegos de auxilio por inundación con intervalos de 0-65-13 y 21 días (25/02/2010; 10/03/2010 y 31/03/2010), hasta alcanzar capacidad de campo en cada uno de ellos. El tamaño de la parcela experimental útil consistió en muestrear solo en los ocho metros de los cuatro surcos centrales.

Variables de estudio

Cada una de las parcelas experimentales fue cosechada cuando las plantas alcanzaron la etapa fenológica de Grano lechoso masoso: Cuando el 50% de las panículas presentan granos que al oprimirlos con los dedos se observaba una consistencia lechosa-masosa en su endospermo de acuerdo a la escala de Zadoks (Zadoks 1974). Donde a partir de una muestra de forraje de 0.40 m^2 (0.5 m x 0.8 m) tomada al azar dentro de los 10 m interiores de los 4 surcos centrales de cada parcela, el material muestreado de cada parcela fue cosechado para determinar el rendimiento de materia seca (RMS^2) la cual se obtuvo mediante el secado de las muestras de forraje dentro de una estufa a una temperatura de 60º ± 5º C por un periodo de 72 horas.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias, mediante la prueba de Tukey al 0.05, bajo un diseño de franjas subdivididas con tres repeticiones (Gómez 1984).

Costos de producción y análisis económico

El costo de producción por ha se disminuye a medida que aumenta en tamaño de la parcela, sin embargo, la estimación que aquí se hace constituye un dato valioso para analizar la factibilidad de producir forraje de avena bajo sistemas de labranza mínima.

Para el análisis económico, los datos sobre las prácticas culturales están basados en el costo real de las operaciones realizadas para cada sistema de labranza. En donde los costos de producción para cada sistema de siembra se basan en la secuencia de operaciones realizadas en cada uno de los sistemas, usando lo que cobran de alquiler por hectárea operarios independientes en la temporada, estimado en pesos mexicanos. El costo de la mano de obra, así como los costos de la semilla de avena y fertilizante se tomó del costo a la fecha que fueron adquiridos para la siembra. Así como el precio de venta del forraje que se obtuvo del mercado al momento de la cosecha. El valor del forraje (cosecha) constituye el ingreso bruto, el total de los costos e ingreso bruto o rendimiento neto se evaluó en conjunto y se calculó como el rendimiento de materia seca en kg ha^{-1} a $1.66 kg. Todos los gastos e ingresos se presentan por hectárea. Para los resultados del análisis económico de los tres sistemas de siembra solo se consideran costos variables generados sobre los resultados del ciclo.

La utilidad bruta se obtiene de restar a las ventas el costo de los bienes reflejados, algunas veces llamada ganancia bruta. Los gastos de operación se restan a la utilidad bruta para determinar la utilidad neta incluyendo todos los gastos diversos para la operación. La utilidad neta es la diferencia entre la utilidad bruta y todos los gastos totales. El margen de utilidad sobre el precio de venta se expresa en porcentajes, no en moneda real, este se puede expresarse como porcentaje del precio de venta. La cual se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Margen de utilidad } \% = \frac{\text{Utilidad en dinero}}{\text{Precio de venta}}$$

7.4.3 Resultados y Discusión

Elementos del clima

Durante la estación de crecimiento del cultivo se registró del mes de diciembre de 2009 al mes de abril de 2010 con una precipitación pluvial total de 168 mm, cantidad

insuficiente para el cultivo ya que aparentemente en las primeras etapas del cultivo las lluvias estuvieron presentes (Figura 3), pero a partir de la mitad del ciclo prácticamente la precipitación fue nula, aunado a que se registraron heladas con temperaturas de hasta -4.5º C a los 79 dds. Estas condiciones climatológicas ocurridas durante el experimento retrasó en parte que el cultivo alcanzara la etapa para la cosecha por haber tenido un desarrollo lento de las variedades hasta la etapa de grano lechoso masoso que fue la cosecha.

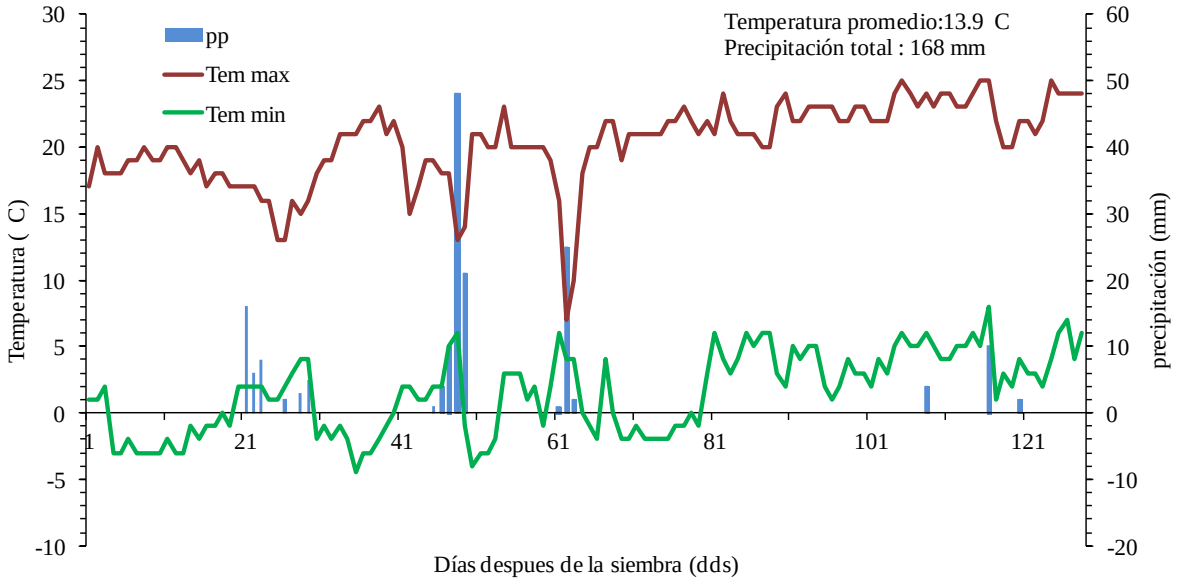

Figura 3 Temperatura máxima, mínima y precipitación durante el ciclo del cultivo de la avena, El Cerrillo, México. Diciembre 2009-abril2010.

Rendimiento de materia seca

Análisis de varianza combinado

Los resultados de los análisis de varianza combinados (Cuadro 10) muestran que para el caso de rendimiento de materia seca (RMS) únicamente los factores de Bloques y las interacciones de: Nitrógeno*Sistema y Nitrógeno*Variedad fue donde no se encontraron

evidencias con efectos significativos (P›0.05), mientras que para el reto de los factores e interacciones se pueden observar diferencias significativas (0.05).

En el Cuadro 11, en cuanto al comportamiento promedio de la dosis de fertilización nitrogenada, sobresalió la dosis alta de 100 kg N ha^{-1} con 33% más que con 60 kg N ha^{-1}, para el caso de los sistemas de labranza estadísticamente el sistema de SDSR fue igual al sistema de SC y solo el sistema SDSR obtuvo valores más bajos. En cuanto a variedades Avemex obtuvo los valores más altos superando al resto de las variedades por su mayor al alcanzar el máximo rendimiento de materia seca.

Cuadro 10 Valores de F y su significancia estadística en el análisis de varianza el rendimiento de materia seca en el Valle de Toluca, México.

FV	gl	RMS
Bloques	2	1.74ns
Nitrógeno	1	440.76**
Error (a)	2	(8666.1)
Sistema de Labranza	2	21.29**
Error (b)	2	(42981.1)
Nitrógeno x Sistema	2	1.10ns
Error (c)	2	(1609.3)
Variedad	3	11.53**
Nitrógeno x Variedad	3	1.57ns
Sistema x Variedad	6	5.67**
Nitrógeno x Sistema x Variedad	6	1.97*
Error (d)	6	(6883.6)

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

Análisis económico

Los costos totales de producción se obtuvieron de la suma de todos los insumos y labores realizadas para cada sistema de siembra (Cuadro 12). En general los sistemas que resultaron más económicos en cuanto a gastos de operación, fueron los sistemas de siembra directa con y sin rastrojo con ambos niveles de nitrógeno, el sistema de siembra con gastos de operación más elevado fue el sistema convencional con 100 kg N ha^{-1}. Al hacer la comparación del sistema SC con el sistema SDSR con el mismo nivel de nitrógeno se observó que resultó ser el doble del costo de producción del sistema SDSR. Y comparando los mismos sistemas con 60 kg N ha^{-1} el costo de producción de SDSR es 55% más económico que el sistema SC lo cual se explica, en los sistemas de siembra directa que se eliminan la mayoría de labores que se hacen para la preparación de terreno.

Cuadro 11 Rendimiento de materia seca en avena forrajera cultivada en Toluca, México.

	RMS
Nitrógeno	t ha^{-1}
60 kg N ha^{-1}	4.56 b
100 kg N ha^{-1}	6.78 a
$DSH_{(0.05)}$	(0.46)
Sistema de labranza	
SDCR	4.59 b
SDSR	6.04 a
SC	6.37 a
$DSH_{(0.05)}$	(1.02)
Variedad	
Avemex	6.54 a
Turquesa	5.12 b
Obsidiana	5.76 b
Karma	5.24 b
$DSH_{(0.05)}$	(0.72)

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

Cuadro 12 Costos de producción en pesos por ha de los insumos y labores de tres sistemas de siembra SC, SDCR y SDSR con 60 y 100 kg N ha^{-1} de avena forrajera cultivada en Toluca, México.

INSUMOS y/o LABORES	COSTOS	SC (60 kg N ha^{-1})	SC (100 kg N ha^{-1})	SDSR (60 kg N ha^{-1})	SDSR (100 kg N ha^{-1})	SDCR (60 kg N ha^{-1})	SDCR (100 kg N ha^{-1})
Semilla	**400.00**	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00
Fertilizante 100kg	**700.00**	n/a	700.00	n/a	700.00	n/a	700.00
Fertilizante 60kg	**350.00**	350.00	n/a	350.00	n/a	350.00	n/a
riegos (4 jornales)	**400.00**	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00
Barbecho	**800.00**	800.00	800.00	n/a	n/a	n/a	n/a
Rastra	**400.00**	450.00	450.00	n/a	n/a	n/a	n/a
Surcado	**350.00**	400.00	400.00	n/a	n/a	n/a	n/a
Rodillo	**400.00**	400.00	400.00	n/a	n/a	400.00	400.00
Siembra	**500.00**	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
Costos totales $		**3,750.00**	**4,100.00**	**1,700.00**	**2,050.00**	**2,100.00**	**2,450.00**

n/a= no aplica

De acuerdo a los resultados obtenidos se muestra que el máximo rendimiento de materia seca con 60 kg N ha^{-1} lo obtuvo la variedad Avemex en el sistema SC. Sin embargo, la variedad Karma con el sistema SDSR fue una de las variedades que obtuvo rendimientos similares con tan solo 50 kg menos que SC. De igual forma bajo las condiciones del sistema SC con 100 kg N ha^{-1} que la variedad Avemex obtuvo el rendimiento más alto con 9450 kg ha^{-1} que equivale a 525 pacas, en comparación con el sistema SDCR y SDSR con 100 kg N ha^{-1} que obtuvieron rendimientos de 5050 y 6700 kg respectivamente, la cual representa una variación de 244 y 151 pacas menos que el sistema SC (Cuadro 13), mientras que la variedad Obsidiana en el sistema de SDSR superó por completo al SC al obtener 7200 kg ha^{-1} mientras el SC obtuvo 6810 ha^{-1} y el sistema SDCR obtuvo solo una diferencia de 10 kg ha^{-1} comparado con el sistema de SC, por lo que se pudiera considerar como mejor alternativa para obtener mayor

rendimiento el sistema de SC. Sin embargo, el mayor número de labores fue para el sistema de SC (Cuadro 12) en comparación con la reducción de trabajos de los sistemas de siembra directa debido a la gran cantidad de operaciones realizadas para la preparación del terreno. Los costos totales de producción se presentan en el Cuadro 12, que incluye la suma de todos los insumos y trabajos realizados por sistema, en donde se aprecia gran variación entre los tres sistemas de siembra y nivel de nitrógeno. Por lo tanto el sistema SC dio lugar a costos más altos de $ 3,750.00 ha^{-1} con 60 kg N y $ 4,100.00 ha^{-1}con 100 kg N debido al mayor número de operaciones, especialmente en la preparación del terreno, mientras el sistema SDSR resultó ser menos costoso con $1,700.00 ha^{-1} con 60 kg N y $ 2,050.00 ha^{-1} con 100 kg N ya que no se realizó ninguna operación previa a la siembra y dio lugar a un decremento de labores. Esto puede ser explicado por el hecho de que no fue necesario realizar ninguna operación en comparación con la SC previa a la siembra, tomando en cuenta que los tres sistemas recibieron la misma cantidad de semilla, fertilizante y el mismo manejo a partir de la siembra. Sin embargo, al analizar los ingresos y los costos totales generados en cada sistema se observó que a pesar de que el rendimiento del sistema SC fue más elevado, los sistemas de SDSR y SDCR con 60 kg N presentan un Margen de Utilidad Bruta (MUB) de 78 y 65 % respectivamente, mayores que el sistema de SC que fue de 59% que representa una diferencia con el sistema SDSR de 19 puntos porcentuales, es decir que en los sistema SDSR y SDCR por cada peso ingresado se obtuvo una utilidad de $0.78 y $0.65 respectivamente, mientras que en el sistema SC solo se obtuvieron $0.59, Así como también, por cada peso ingresado se destinan a gastos de operación por sistema de SC, SDCR y SDSR $0.41, $0.35 y $0.22 respectivamente. En este sentido se pudiera decir que el sistema SC es el menos rentable ya que comparándolo con los otros dos sistemas fue el que presentó un menor MUB de 59% y un mayor GO 41% (Cuadro 13). Siendo más rentables los sistemas de SDSR y SDCR que ofrecen los costos de producción más bajos. Por lo tanto, esta comparación muestra que los sistemas de siembra directa con y sin rastrojo podrían ser una alternativa económica viable para la producción de avena para forraje en el valle de Toluca.

Cuadro 13 Análisis económico de dos niveles de nitrógeno 60 y 100 kg ha^{-1}, tres sistemas de siembra SC, SDCR y SDSR, y cuatro variedades de avena (Avemex, Turquesa, Obsidiana y Tturquesa), con respecto al Rendimiento de Metería Seca (RMS), Número de Pacas, Ingresos, Costos, Margen de Utilidad Bruta (MUB), Razón de Gasto de operación (GO) y Punto de Equilibrio en Venta (PEV).

NIT	SIS	VAR	RMS	PACAS	INGRESOS	COSTOS	MUB	GO	PEV
			Kg ha^{-1}	ha^{-1}	\$ ha^{-1}	\$ ha^{-1}	%	%	\$
60	SC	Avemex	7110	354	10616.6	3750.0	65	35	5797.9
		Turquesa	4220	255	7650.0	3750.0	51	49	7355.8
		Obsidiana	5050	336	10066.6	3750.0	63	37	5976.3
		Karma	4460	248	7433.3	3750.0	50	50	7567.9
	SDCR	Avemex	4180	232	6966.6	2100.0	70	30	3006.2
		Turquesa	3500	194	5833.3	2100.0	64	36	3281.3
		Obsidiana	4110	228	6850.0	2100.0	69	31	3028.4
		Karma	2930	163	4883.3	2100.0	57	43	3684.4
	SDSR	Avemex	6020	334	10033.3	1700.0	83	17	2046.8
		Turquesa	4120	229	6866.6	1700.0	75	25	2259.4
		Obsidiana	4550	253	7583.3	1700.0	78	22	2191.2
		Karma	4410	245	7350.0	1700.0	77	23	2211.5
100	SC	Avemex	9450	525	15750.0	4100.0	74	26	5542.9
		Turquesa	7810	434	13016.6	4100.0	69	31	5985.2
		Obsidiana	6820	379	11366.6	4100.0	64	36	6413.3
		Karma	6030	335	10050.0	4100.0	59	41	6925.2
	SDCR	Avemex	5050	281	8416.6	2450.0	71	29	3456.0
		Turquesa	5120	284	8533.3	2450.0	71	29	3436.7
		Obsidiana	6810	378	11350.0	2450.0	78	22	3124.4
		Karma	4990	277	8316.6	2450.0	71	29	3473.2
	SDSR	Avemex	7390	411	12316.6	2050.0	83	17	2459.3
		Turquesa	6700	372	11166.6	2050.0	82	18	2511.0
		Obsidiana	7200	400	12000.0	2050.0	83	17	2472.4
		Karma	7910	439	13183.3	2050.0	84	16	2427.5

7.4.4 Conclusiones

Los sistemas de siembra directa y la dosis de Nitrogeno tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de materia seca de avena.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que es rentable la producción de avena bajo sistemas de siembra directa con y sin rastrojo, sin embargo se tendría que dejar pasar varios siclos o cinco años usando dichos sistemas para que la rentabilidad sea más satisfactoria.

Por último y como se esperaba los sistemas de siembra directa con y sin rastrojo resultaron ser más eficientes que el sistema de siembra convencional, por ello se pudiera decir que los sistemas de siembra directa pueden ser una buena opción para producir forraje de avena reduciendo así los costos de producción de cultivo.

7.4.5 Literatura citada

Derpsch, R. 1999. Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. Proc. of the 10th ISCO Conf., May 24-28 West Lafayette In., 248–254.

Gomez KA, Gomez AA. Procedures For Agricultural Research, 2nd Edition. February 1984.

Kueneman, E., Friedrich, T., Bunning, S., Kienzle, J., y Batello, C. 2008. Agricultura de Conservación. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/es. Consultado en Marzo de 2008.

Meyer, L.D., Dabney, S.M., Murphree, C.E., Harmon, W.C., and Grissinger, E.H. 1999. Crop production systems to control erosion and reduce runoff from upland silty soils. Transactions of the ASAE. 42(6): 1645–1652.

Salmerón, Z J J, F J Meda, J R Bárcena (2003) Variedades de avena y Calidad Nutricional del forraje. SAGARPA-INIFAP-SIRNOC. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Folleto técnico No. 17. 43 p.

Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. A decimal code for the growth stages of cereals. Eucarpia Bulletin 1974.

Martínez G. M.A., Jasso C. C.,2005 Rotation maíz-avena forrajera con labranza de conservación en el altiplano de San Luis Potosí, México, Terra Latinoamericana 23(2) 257-263.

Villaseñor, M. H. E., R. E. Espitia, y G. C. Márquez. 1998. Cevamex nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. Folleto Técnico No. 12. INIFAP CIRCE – CEVAMEX. México, D. F. 16 p.

VIII DISCUSIÓN GENERAL

Las condiciones climáticas ocurridas durante el desarrollo del experimento propiciaron un crecimiento y desarrollo lento para todas las variedades por la presencia de bajas temperaturas que se registraron en las primeras semanas del cultivo, hasta el mes de marzo que se presentaron temperaturas más altas lo cual propició que retardaron su desarrollo 130 dds hasta alcanzar la etapa del corte de grano lechoso masoso, resultando ser más eficiente el sistema SDSR por obtener el mayor NT (302) en comparación con los sistemas SDCR y SC (230 y 278 respectivamente). Cabe hacer mención que el menor NT del sistema SDCR es atribuible a la presciencia del rastrojo lo cual en un dificultó la germinación de la semilla y emergencia de las plántulas, sobre todo en la variedad Turquesa,

El rendimiento de forraje verde y producción de materia tuvieron un efecto muy marcado por la dosis de nitrógeno, atribuible a que se generó un mayor NT donde se aplicó alta dosis de nitrógeno, además de que el peso seco de las hojas, tallos y panículas fue mayor donde se aplicó alta dosis de nitrógeno aunque dicho efecto no fue estadísticamente significativo. En este sentido, los resultados obtenidos difieren con los que encontró Lestingi et al., (2010) quienes no obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de materia seca al aplicar tres niveles de nitrógeno 0, 50 y 100 kg N ha^{-1} respectivamente.

Los sistemas de siembra convencional y la siembra directa sin rastrojo obtuvieron los rendimientos de forraje verde más elevados con 11.8 y 14.1 t ha^{-1} respectivamente. Para

el caso del rendimiento de materia seca el sistema SDSR obtuvo un rendimiento estadísticamente igual al del sistema SC, lo cual se atribuye a que en estos se registró el mayor peso seco del tallo y mayor número de tallos. Lestingi, 2010 en un trabajo de triticale también encontró diferencias al comparar los efectos de cuatro métodos de labranza en sus rendimientos por efecto del sistema de labranza.

Es importante resaltar a la variedad Avemex por haber obtenido el rendimiento más alto de forraje verde con 13.7 t ha^{-1} seguida por Obsidiana y Karma que obtuvieron 11.6 y 10.1 t ha^{-1} respectivamente; mientras que la variedad Turquesa obtuvo únicamente 5.8 t ha^{-1}.

Lauriault y Kirksey (2004) mencionan que además del aspecto de rendimiento de forraje es de vital importancia considerar el valor nutricional del mismo, en este caso la calidad del forraje dependió en gran parte del nitrógeno aplicado, ya que con alta dosis de nitrógeno el rendimiento se incrementó pero su calidad nutricional disminuyó ligeramente, el contenido de FDN no se vio afectado por ningún factor sin embargo, es una característica que determina y regula la digestibilidad, mientras que el contenido de FDA es la que determina y regula la ingesta (Nelson y Moser, 1194), cuando el contenido de la pared celular es bajo, el producto, la alimentación y la digestibilidad es creciente en los animales (Juskiw et al., 2000), por lo que los contenidos de FDN y FDA en las plantas son dos de los factores principales que determinan la calidad del forraje (Collar et al., 2005). Sin embargo, la calidad dependerá de la etapa de crecimiento que se encuentre al momento del corte, registrándose porcentajes de proteína y digestibilidad

más altos en las etapas más tempranas del cultivo, disminuyendo conforme va avanzando su madurez fisiológica.

Los contenidos de lignina no se vieron afectados por efecto del nitrógeno ni hubo diferencias entre variedades, sin embargo el tipo de sistema de siembra ejerció un efecto al generar mayor contenido en la siembra convencional mientras que los sistemas de conservación SDCR y SDSR sufrieron una ligera disminución comparadas con el sistema SC, estos valores junto con los de digestibilidad pueden ser considerados como buen indicador de la calidad de los forrajes, ya que a mayor contenido de ligninas es más difícil para los rumiantes poder digerir el alimento por las bacterias del rumen.

El contenido de cenizas estuvo determinado por el efecto del nitrógeno, observándose una reducción en este componente donde se tuvo alta dosis de nitrógeno, atribuible a una mayor acumulación de materia seca y en consecuencia una mayor dilución de los minerales dentro de la planta. Sin embargo entre sistemas y variedades no se observan diferencias. De igual manera para el caso de proteína cruda también se vio afectado por la dosis de nitrógeno, observándose que cuando se presentó mayor contenido de proteína fue donde se tuvo alta dosis de nitrógeno mientras que con bajo nitrógeno el contenido disminuyó considerablemente

El tipo de sistema de siembra también ejerció un efecto en el total de nutrientes digestibles obteniendo los valores más altos los sistemas de conservación SDCR y SDSR. El valor alimenticio relativo de forraje también se vio afectado por el efecto del nitrógeno observando un mayor valor 113 con baja dosis de nitrógeno, mientras que con

alto nitrógeno obtuvo solo tuvo 108. Sin embargo, con base en el VAR ambos se puede calificar como forrajes de calidad ya que valores iguales o mayores a 100 se consideran de buena calidad, considerando que a medida que aumentan las concentraciones de FDN y FDA se reduce el VAR, se puede deducir que el forraje obtenido con ambos niveles de nitrógeno tendría un buen consumo y digestibilidad para el ganado. Así como con los tipos de sistema de siembra y variedades que no presentan diferencias sin embrago también se encuentran dentro del rango de los forrajes de calidad.

El sistema de SDSR obtuvo solo una diferencia de 18 pacas comparado con el sistema SC que fue el sistema que obtuvo la mayor producción de MS 6370 kg ha^{-1} que equivale a 354 pacas, resultando con menos, por lo que se pudiera considerar como mejor alternativa para obtener mayor rendimiento el sistema de SC. Sin embargo, el mayor número de labores fue para este sistema de SC en comparación con la reducción trabajos de los sistemas de siembra directa. Por consiguiente el sistema SC dio lugar a costos más altos por ha^{-1}, mientras la SDSR resultó ser el menos costoso ya que no se realizó ninguna operación previa a la siembra y dio lugar a un decremento de labores, tomando en cuenta que los tres sistemas recibieron los mismos insumos (semilla, fertilizante y manejo) a partir de la siembra. y al analizar los ingresos y los costos variables generados en cada sistema se observó que a pesar de que el rendimiento del sistema SC fue más elevado, los sistemas de SDSR y SDCR presentan un Margen de Utilidad Bruta (MUB) de 79 y 67 % respectivamente, mayores que el sistema de SC que fue de 61% que representa una diferencia con el sistema SDSR de 18 puntos porcentuales, es decir que en los sistema SDSR y SDCR por cada peso ingresado se obtuvo una utilidad de $0.79 y

$0.67 respectivamente, mientras que en el sistema SC solo se obtuvieron $0.61, Así como también, por cada peso ingresado se destinan a gastos de operación por sistema de SC, SDCR y SDSR $0.39, $0.33 y $0.21 respectivamente. En este sentido se pudiera decir que el sistema SC es el menos rentable ya que comparándolo con los otros dos sistemas fue el que presentó un menor MUB de 61% y un mayor GO 39% . Siendo más rentables los sistemas de SDSR y SDCR que ofrecen los costos de producción más bajos.

IX CONCLUSIÓNES GENERALES

Los sistemas de siembra muestran un efecto significativo sobre la producción del forraje de avena, donde rendimientos de forraje verde y materia seca estuvieron determinados principalmente por el efecto de nitrógeno aplicado, observándose mayor rendimiento de forraje verde y materia seca en donde se aplicó alta dosis de nitrógeno, debido fuertemente a un mayor número de tallos así como mayor peso en hoja, tallo e inflorescencias.

La variedad Avemex mostro mayor potencial de rendimiento en los tres sistemas con bajo nitrógeno y en SC con alto nitrógeno; Obsidiana para SDCR con alto nitrógeno y Turquesa para SDSR con alto nitrógeno.

La calidad nutricional del forraje puede ser afectada también por el contenido de nitrógeno aplicado, principalmente en las variables de FDA, contenido de cenizas, contenido de proteína cruda y por lo tanto el valor alimenticio relativo, que para este trabajo cabe mencionar que con ambos niveles de nitrógeno los valores se encuentran por arriba de 100 que es donde se encuentran los forrajes de buena calidad.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la producción de avena forrajera en sistemas de siembra directa con o sin rastrojo puede ser una opción para optimizar la producción de forraje de avena de buena calidad ya que su valor relativo de forraje se encuentra por arriba de 100 para las condiciones de la región del valle de Toluca.

Cabe aclarar, que el comportamiento de los sistemas de siembra está limitado únicamente a un ciclo de estudio y que su productividad puede variar a partir de tres o más años con cambios notables en el rendimiento.

El sistema SC es el menos rentable ya que comparándolo con los sistemas de siembra directa fue el que presentó un menor margen de utilidad bruta con una alto gasto de operación. Resultando ser más rentables los sistemas de SDSR y SDCR que ofrecen los costos de producción más bajos.

Los sistemas de siembra directa con y sin rastrojo podrían ser una alternativa económica viable y sostenible para la producción de avena para forraje en el valle de Toluca.

X REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agustín, G. A. 2007. Monografía de la avena (*Avena sativa L.*). Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla (México) 22 p. (Folleto Técnico).

Beker, C.J., Saxton, K.C., Richie, W.R., Chamen, W.C., Rakosky, D.C., Ribeiro, M.F. y Justice, S.C. 2009. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Editorial Acriba primera edición.

Crovetto, C.C. 2002. Cero Labranza. Los rastrojos, la nutrición del suelo y se relación con la fertilidad de las plantas. Editorial Acriba, 226 p

Deen, W. and Kataki, P. K. 2003. Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. Soil Tillage Resesrch. 74:143-150.

Derpsch, R. ,Florentin, M. y Moriya, K., 2000: Importancia de la siembra directa para alcanzar la sustentabilidad agrícola. Proyecto Conservación de Suelos MAG - GTZ, DEAG, San Lorenzo, Paraguay, 40 pp

Derpsch, R. 1999. Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. Proc. of the 10th ISCO Conf., May 24-28 West Lafayette In., 248–254.

Elizalde, V. H. F., Gallardo C. M. 2003. Evaluación de Ensilajes de avena y Cebada en la ganancia de Peso de Vaquillas en Crecimiento. Agricultura Técnica. Chile. p. 380-386.

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. Agricultura Técnica en México (México) 33:95-98.

Ferret, A. Control de calidad de forrajes. Universidad Autónoma Barcelona. XXV. Curso de especialización FEDNA. 137-150 p.

Financiera Rural, 2010. Monografía de la Avena y Semilla de Avena para Siembra (En línea) Disponible en (http://www.financierarural.gob.mx).

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, Keller H. O., García F., Ciampitti I. 2008. Fertilización nitrogenada en avena. Informaciones Agronómicas Hispano Americanas, International Plant Nutrition Institute 38:25-26

Fuente: ISTRO, 1997: International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), INFO-EXTRA, Vol. 3 Nr° 1, enero 1997

García, E.1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246p.

Gil, G. H. 2008. Influencia de tres etapas de corte en la producción y calidad de forraje ensilado y henificado en líneas avanzadas de triticale. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 90 p.

Gold, S. J., Fetch, J. M. and Fetch, T. G. 2005. Evaluation of *Avena spp*. accessions for resistance to oat stem rust. Plant Dis. 89:521–525.

Gomez KA, Gomez AA. Procedures For Agricultural Research, 2nd Edition. February 1984.

González, M. R. 2010. Rendimiento y calidad nutricional de forraje en avena (*Avena sativa L.*).en función a la densidad de siembra y fertilización nitrogenada. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 70 p.

González, R. E. B. 2007. Producción y calidad de forraje en avena, cebada y triticale en asociación con ebo, en el valle de Toluca México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 72 p.

Govaerts B, Sayre DK, Goudeseune B, De-Corte p, Lichter K, Dendooven L, Deckers J. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican Higlands. Soil. Till. Res. 2009 103(2)222-230.

Govaerts B., Sayre K.D., Ceballos-Ramirez J.M., Luna-Guido M.L., Limon-Ortega A., Deckers J., Dendooven L. 2006. Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: Effects on soil C and N dynamics. Plant Soil. 280: 143-155

Govaerts, B., Sayre, D. K. and Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? Field Crops Research. 94:33-42.

Govaerts, B.; Sayre, D. K.; Licher, 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.

Istro, 1997. International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), INFO- EXTRA, Vol. 3 Nr° 1.

Kochhann, R. A., 1996: Alterações das Características Físicas, Quimicas e Biológicas do Solo sob sistema de Plantio Direto. Resumos, I Conferencia Anual de Plantio Direto, p 17- 25, 4 - 6. 9. 1996, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS., Brazil

Kueneman, E., Friedrich, T., Bunning, S., Kienzle, J., y Batello, C. 2008. Agricultura de Conservación. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/es. Consultado en Marzo

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. Agronomy Journal. 96:352-358

Lestingi, A., Bovera, F., De Giorgio, D., Ventrella, D. and Tateo, A. 2010. Effects of tillage and nitrogen fertilization on triticale grain yield, chemical composition and nutritive value. J. Sci Food Agric. 90:2040-2448.

Lichter, K., Govaerts, B, Six, J., Sayre, K. D., Deckers, J. and Dendoovn, 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; 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. Técnica Pecuaria en México. 40:17-35.

Maddonni, G. A. and M. E. Otegui. 1996. Leaf area, light interception and crop development in maize. Field Crops Res. 48: 81-87.

Marin N. F. A. 1999 rendimiento de forraje de seis variedades de avena (*Avena sativa* L.) bajo dos niveles de fertilización en San José del Rincón, Municipio de San Felipe del Progreso, México. Tesis de licenciatura, I.A.F. Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM, México. Pp 12-15, 45-54.

Márquez, C. L.A. 1985. Efectos de la densidad de siembra sobre el índice de cosecha de diez variedades de avena. Tesis Ing. Agrónomo UNAM, Facultad de estudios profesionales Cuautitlán I. México, pp.:3-11

Martínez G. M.A., Jasso C. C.,2005 Rotation maíz-avena forrajera con labranza de conservación en el altiplano de San Luis Potosí, México, Terra Latinoamericana 23(2) 257-263.

Meyer, L.D., Dabney, S.M., Murphree, C.E., Harmon, W.C., and Grissinger, E.H. 1999. Crop production systems to control erosion and reduce runoff from upland silty soils. Transactions of the ASAE. 42(6): 1645–1652.

Minson, D. J. 1990. Forage in ruminant nutrition. USA. Academic Press.

Quiroz, M. O. 2008. Rendimiento de materia seca y calidad nutricional de forraje en líneas de triticale de ciclo largo para condicionas de temporal en Toluca, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 90 p.

Robles, S. R. 1986. Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. DF. p. 247.

Roth, C. H., 1985: Infiltrabilität von Latossolo- Roxo- Böden in Nordparaná, Brasilien, in feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen

Bodenbearbeitungssystemen und Rotationen. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 83, 1 - 104.

Sainz, R.H., H. E. Echeverría, G. A. Studdert y F. H. Andrade. 1997. Volatilización de amoniaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 15: 12-16.

Salazar-Sosa, E., Beltrán- Morales A., Fortis Hernández, H., Leos-Rodriguez, J.A., Cueto-Wong, J.A., Vazquez-Vazquez, 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.

Salmerón, Z J J, F J Meda, J R Bárcena (2003) Variedades de avena y Calidad Nutricional del forraje. SAGARPA-INIFAP-SIRNOC. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Folleto técnico No. 17. 43 p.

Sánchez, B. G. 1988. Estudios de densidad y variedades de avena forrajera en Juchitepec. México. Tesis Profesional UNAM, Facultad de estudios Superiores Cuautitlán I. México.

Sayre, D. K. 2004. Raised-bed cultivation. In: Lal R. (ed) Encyclopedia of soil science. Marcel Dekker, Inc. New York . P. 1600.

Sisti, C. P. J.; Santos, H. P.; Kohhann, R.; Alves, 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 Research. 76:39-58.

Torres, V. O. 2009. Rendimiento y calidad nutricional de forraje en doce variedades de avena (*Avena sativa L.*) para valles altos de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 69 p.

Valdez, S. N. 2006. Producción y calidad nutricional de forraje en triticale, avena y cebada en tres etapas progresivas de madurez, en el valle de Toluca, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 71 p.

Villaseñor, M. H. E., R. E. Espitia, y G. C. Márquez. 1998. Cevamex nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. Folleto Técnico No. 12. INIFAP CIRCE – CEVAMEX. México, D. F. 16 p

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. *En:* 60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México. INIFAP, CICE, CEVAMEX. Chapingo, Estado de México. p 17–30. (Publicación Especial No.1).

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. 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. Técnica Pecuaria en México. 40:229-242.