



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA,
INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**CONSUMO APARENTE Y COMPOSICIÓN
NUTRICIONAL DE FORRAJE DE
Avena strigosa Y *Vicia* spp.**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INNOVACIÓN GANADERA**

PRESENTA:

JUAN CARLOS QUIROZ PÉREZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

RICARDO D. AMÉNDOLA MASSIOTTI, Ph. D.

**JUNIO DE 2017
CHAPINGO, MÉXICO**



Consumo aparente y composición nutricional de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp.

Tesis realizada por el Ing. **Juan Carlos Quiroz Pérez** bajo la dirección del siguiente Comité Asesor, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

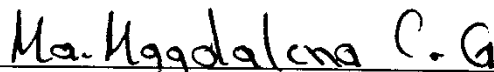
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Director:



Ph. D. Ricardo D. Améndola Massiotti

Asesor:



Dra. María Magdalena Crosby Galván

Asesor:



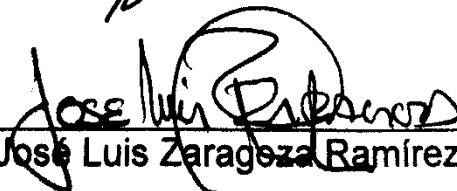
Dr. Juan Andrés Burgueño Ferreira

Asesor:



Dra. María Edna Álvarez Sánchez

Asesor:



Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iii
Agradecimientos	iv
Datos biográficos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Forrajes invernales en clima templado	3
2.1.1 Productividad	4
2.1.2 Estacionalidad	4
2.1.3 Composición nutricional	5
2.2 Especies de estudio	6
2.2.1 <i>Avena strigosa</i>	6
2.2.2 <i>Vicia sativa</i>	7
2.2.3 <i>Vicia villosa</i>	8
2.3 Asociaciones de gramíneas con leguminosas	9
2.4 Fertilización nitrogenada en praderas de clima templado	10
2.5 Literatura citada	11
3. CONSUMO APARENTE Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE FORRAJE DE AVENA STRIGOSA Y VICIA SPP.	15
3.1 Resumen	15
3.2 Abstract	16
3.3 Introducción	17
3.4 Materiales y métodos	18
3.5 Resultados y discusión	21
3.6 Conclusiones	36
3.7 Literatura citada	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo del sitio experimental.....	19
Cuadro 2. Consumo aparente de forraje (kg MS ha ⁻¹) de <i>Avena strigosa</i> con <i>Vicia</i> spp. en dos fechas de siembra.....	23
Cuadro 3. Eficiencia de utilización (%) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra.....	24
Cuadro 4. Composición botánica (kg MS ha ⁻¹) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.....	25
Cuadro 5. Composición morfológica (kg MS ha ⁻¹) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.....	27
Cuadro 6. Proteína cruda (%) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.....	29
Cuadro 7. Fibra detergente neutro (%) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.....	30
Cuadro 8. Fibra detergente ácido (%) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.....	32
Cuadro 9. Cenizas (%) de forraje de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.....	33
Cuadro 10. Cambios de nitrógeno inorgánico (CNI) en el suelo (ppm) de praderas de <i>Avena strigosa</i> y <i>Vicia</i> spp. con dos fechas de siembra.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Climograma en Chapingo, México durante otoño e invierno.	18
Figura 2. Relación entre la cantidad de N cosechada con el forraje y el cambio en el contenido de N inorgánico en el suelo, en asociaciones de <i>Avena strigosa</i> con <i>Vicia villosa</i> y <i>V. sativa</i>	36

AGRADECIMIENTOS

A la **UACH** que por medio del **Posgrado en Producción Animal** me permitió continuar con mi formación académica.

Al **CONACYT** por todo el apoyo económico brindado en mis estudios de Maestría.

Al **Ph. D. Ricardo Améndola Massiotti** por su disposición, colaboración, apoyo y dirección en la realización de mis estudios de Maestría.

A la **Dra. Magdalena Crosby Galván** y al personal del Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados, por su valiosa colaboración en los análisis de composición nutricional.

A la **Dra. Edna Álvarez Sánchez** y al personal del Laboratorio de Química de Suelos del Departamento de Suelos, por su valiosa colaboración en el análisis de suelo.

Al **Dr. Juan Burgueño Ferreira** por su colaboración en el análisis estadístico.

Al **Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez** por su apoyo y supervisión en la elaboración de este documento.

Al compañero **Genaro Hernández Bautista** por todo su apoyo y disposición al trabajo durante la fase de campo de la investigación.

A mis amigos y colegas **Ma. Inés Sierra, Octavio Ortiz y Marco Antonio Cano** por todo su apoyo e invaluable colaboración a lo largo de los estudios de Maestría.

A mis amigos y compañeros del Posgrado: **Pablo López, Bricia Plata y Ubaldo Juárez**.

A mis amigos **Iván Quiroz, Ángeles López, Gerardo Luna y Diego Moya** por su ayuda durante la fase de campo de la investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Juan Carlos Quiroz Pérez
Fecha de nacimiento: 22 de mayo de 1991
Lugar de nacimiento: Puebla, Pue.

Datos académicos

Profesión: Ingeniero Agrónomo especialista en Zootecnia
Cédula profesional: 09170467

Licenciatura: Departamento de Zootecnia
Universidad Autónoma Chapingo
2010-2014

Maestría: Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera
Posgrado en Producción Animal
Universidad Autónoma Chapingo
2015-2016

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de leche de vaca bajo un sistema intensivo de pastoreo en praderas de clima templado, es una alternativa de rentabilidad y sostenibilidad alta. Para este sistema, la producción de forrajes es la base de la alimentación del ganado, y es importante mantener constante la producción de alimento a través del año, para minimizar las posibles variaciones estacionales en la producción de leche.

Las praderas plurianuales de alfalfa en asociación con gramíneas o en monocultivo, en rotación con el cultivo de maíz (para ensilar) y forrajes anuales de invierno, constituyen la base forrajera más frecuente tanto en el sistema especializado de producción de leche, como en el de producción en pastoreo.

En los sistemas de producción bajo pastoreo de zonas templadas, se presenta un déficit importante de forraje durante otoño e invierno, debido a bajas temperaturas y disminución de la radiación solar, condiciones que limitan el crecimiento de las especies forrajeras en comparación con el período favorable de primavera y verano. En estas condiciones, la producción y calidad de especies forrajeras para el ciclo otoño e invierno resulta importante. En México, *Avena sativa* es la opción de cultivo más difundida para amortiguar la escasez de forraje (Sánchez *et al.*, 2014). En regiones subtropicales y templadas de México, Chile, Perú y Argentina *Avena strigosa* destaca como una especie de mayor producción de materia seca respecto a *A. sativa* (Federizzi & Mundstock, 2004), pero es preciso conocer su productividad y calidad nutricional asociada con otras especies de alto valor forrajero como las leguminosas, tal es el caso de las especies del género *Vicia* que además aportan nitrógeno al sistema y se consideran mejoradoras del suelo (Covaleda *et al.*, 2006). Por consiguiente, se requiere ampliar el conocimiento sobre las especies forrajeras (gramíneas y

leguminosas) que se pueden utilizar en zonas templadas del país en condiciones de riego para otoño e invierno.

Las tendencias actuales de producción en la ganadería, sugieren reducir el impacto de ésta sobre el medio ambiente y asumir la responsabilidad ecológica de la actividad. Convencionalmente las gramíneas forrajeras invernales se fertilizan con altos niveles de nitrógeno, por lo que la inclusión de leguminosas asociadas que necesariamente reduce la fertilización nitrogenada, debería promover la sostenibilidad del sistema al reducir el uso de energía exógena y la contaminación del suelo y aguas superficiales por los procesos de lixiviación (Crews & Peoples, 2004). Así mismo, como contribución adicional al mejoramiento de la sostenibilidad del sistema, la reducción en la compra de fertilizantes, representa una disminución considerable a los costos de producción del forraje. Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron evaluar durante el ciclo otoño e invierno el consumo aparente y la composición nutricional del forraje de praderas de *Avena strigosa* y sus asociaciones con *Vicia sativa* y *Vicia villosa* bajo pastoreo con vacas lecheras; así mismo, caracterizar los cambios en el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo, con la finalidad de optimizar el manejo de estas praderas de clima templado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Forrajes invernales en clima templado

En las zonas templadas del mundo, la producción de forraje está basada principalmente en especies que alcanzan su máximo potencial productivo durante el verano. Un caso muy estudiado es el de la producción de forraje de praderas plurianuales de alfalfa, en las que se señala; que la distribución estacional de los rendimientos de alfalfa es un factor en el manejo de los sistemas lecheros en los que se usa este forraje; según los informes, 60 % del crecimiento tiene lugar en primavera y verano y 40 % durante otoño e invierno (Améndola *et al.*, 2005).

En los meses de otoño e invierno la producción de forrajes se ve disminuida; los cambios a lo largo del año en la producción de biomasa están bien definidos por la estación; Kurtz, Asch, Giese, Hülsebusch, Goldfarb y Casco (2016) señalan que la producción de biomasa sigue el orden decreciente de primavera y verano, otoño e invierno, debido a algunos factores del clima como las bajas temperatura y la disminución en la radiación. Para contrarrestar tal situación, es común la utilización de especies anuales adaptadas a los factores climáticos propios de la zona (Duchini *et al.*, 2013).

En la zona central de México, los cereales de grano pequeño en condiciones de riego, son una opción productiva y comúnmente se cultivan al final del temporal para producir forraje en la época crítica del año (Améndola *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2014).

En la última década la superficie nacional destinada al cultivo de forrajes invernales se ha incrementado considerablemente. Según datos oficiales, durante el ciclo otoño e invierno 2014 se sembraron en México con avena forrajera 115,483 ha en riego y temporal; le siguen en orden de importancia (por superficie sembrada) cebada (20,640 ha), rye grass (10,733 ha), triticale (9,192

ha), ebo (5,945 ha), trigo forrajero (2,088 ha) y otras especies en praderas (8,474 ha) (SIAP, 2014).

2.1.1 Productividad

La producción de forrajes responde a múltiples factores, tales como las condiciones ambientales, edáficas y factores propios de las especies en cuestión. Muir, Pitman y Foster (2011) señalan que la producción sostenible de forrajes depende de un alto número de factores propios del establecimiento y manejo de las praderas y del suelo, la selección de especies a utilizar (potencial de especies nativas), la diversificación del sistema tradicional de monocultivos, así como los cambios ecológicos y económicos del ecosistema.

Pin, Soares, Possenti y Ferrazza (2011) señalan que la producción de forrajes anuales durante el invierno está definida por factores propios de la pradera entre los que su altura, define el momento y la altura de cosecha. Sin embargo, la diferencia en la producción de forraje entre cosechas sucesivas y especies ocurren debido a la modificación estructural de la pradera, por ejemplo: densidad de hijatos, relación hoja/tallo y la acumulación de material muerto.

Todo lo anterior hace necesaria la búsqueda constante de asociaciones de diferentes especies forrajeras y la optimización de aspectos de su manejo, tales como la época de siembra, de modo de reducir la estacionalidad en la disponibilidad de forraje e incrementar la sostenibilidad de la actividad.

2.1.2 Estacionalidad

La marcada estacionalidad en la producción de forrajes, es atribuida principalmente a factores propios de la condición ambiental de la región geográfica en cuestión. Es así que se identifica a las variaciones en temperatura, humedad del suelo (precipitación o riego), radiación y velocidad del viento, como las principales limitantes, que pueden acentuarse en la época fría del año. Al respecto, las bajas temperaturas, aún en periodos cortos,

disminuyen el crecimiento de los pastos por lo que se pueden presentar tasas de acumulación de forraje muy bajas (Hudson *et al.*, 2010).

Se ha observado que el rendimiento anual de las especies forrajeras perennes de clima templado en México, independientemente de las asociaciones, se distribuye de la siguiente manera: 19, 21, 30 y 30 % para otoño, invierno, primavera y verano, respectivamente (Flores-Santiago *et al.*, 2015); en concordancia con los resultados de la revisión realizada por Améndola, Castillo y Martínez (2005)

Moreno-Carrillo, Hernández-Garay, Vaquera-Huerta, Trejo-López, Escalante-Estrada, Zaragoza-Ramírez y Joaquín-Torres (2015) señalan que el rendimiento de forraje de asociaciones de gramíneas y leguminosas de clima templado presentan rendimiento estacional a lo largo del año, el mayor aporte de éste se tiene en primavera y verano con 69 %, 31% en otoño e invierno y la estación de invierno tiene el menor aporte con 12 %.

Del análisis de la literatura consultada resulta evidente que otoño e invierno son el periodo crítico del año, durante el que existe déficit en la producción de forrajes y la importancia del cultivo y utilización de especies anuales para dicha época.

2.1.3 Composición nutricional

Los cultivos anuales de invierno, frecuentemente avena, ballico anual y cebada, se establecen en rotación con las praderas plurianuales de alfalfa para garantizar la alimentación principalmente del ganado bovino lechero. En este sentido, Améndola, Castillo y Martínez (2005) mencionan que el contenido de proteína cruda (PC) y energía en alfalfa, es más alto durante el otoño e invierno y más bajo en primavera y verano. Por lo anterior, es necesario que las especies producidas en este periodo sean de calidad nutricional muy similar a ésta y evitar costos por suplementación al ganado.

Lauriault y Kirksey (2004) mencionan que la calidad nutricional de las gramíneas invernales está en función de la etapa fenológica que presenten a la cosecha; así mismo, Budakli y Melis (2012) señalan que asociaciones con leguminosas de invierno mejoran características nutricionales como el incremento del contenido de PC y disminución de la fibra detergente neutro (FDN).

2.2 Especies de estudio

2.2.1 *Avena strigosa*

A. strigosa fue seleccionada en el sur de Brasil para incrementar la producción de forraje en las condiciones subtropicales de la zona. Se ha identificado a esta especie como una opción para suprimir las deficiencias en la producción de forraje en el periodo de otoño e invierno y la posibilidad de aprovechar praderas sembradas en la época fría del año. El forraje de *A. strigosa* tiene alto valor nutritivo y la especie tiene elevado potencial productivo (Aguinaga *et al.*, 2008; Pin *et al.*, 2011). En esas condiciones brasileñas, se ha reportado una producción en primavera de forraje de *A. strigosa* + *Lolium multiflorum* de 5, 014 kg MS ha⁻¹ cuando la pradera tenía 42 cm de altura (Aguinaga *et al.*, 2008).

En México se conoce a *A. strigosa* como avena Saia, de poco uso comercial entre los productores pero disponible en el mercado. Sánchez, Gutiérrez, Serna, Gutiérrez y Espinoza (2014) señalan que el comportamiento productivo de Saia supera al que presentan variedades de *A. sativa* de uso masivo, como: Chihuahua, Turquesa, Obsidiana, Karma y Agata. Así mismo, registraron que esta especie tiene un ciclo fenológico largo (106 días), en comparación con las anteriores (86 días); reportan una producción de 4,763 kg MS ha⁻¹ en condiciones de secano (siembra a fines de julio) en Zacatecas. El rendimiento de MS corresponde a que Saia presenta mayor cantidad de tallos y hojas en comparación con *A. sativa*. En características nutricionales sobresale su alto

contenido de PC, en general se propone como una buena alternativa para solucionar los problemas de bajos rendimientos de materia seca por hectárea.

En un estudio realizado en Brasil se reporta que *A. strigosa* presenta características favorables para ser apacentada por el ganado, los autores encontraron que el manejo del pastoreo con bovinos de carne y la altura del forraje residual determinan la masa de forraje de los pastoreos subsecuentes (Aguinaga *et al.*, 2008); la realización de varios ciclos de pastoreo resulta importante en el periodo crítico de invierno.

2.2.2 *Vicia sativa*

El género *Vicia* está compuesto de aproximadamente 190 especies distribuidas en todo el mundo y se encuentra ampliamente difundido en el Mediterráneo e Irán. Así mismo, se distribuye extensamente en la zona templada del hemisferio norte y en la región subtropical de Sudamérica (Rahmati *et al.*, 2012).

Las especies de *Vicia* son leguminosas adaptadas a las zonas templadas, cuyos servicios al agroecosistema son diversos entre los que se destacan su función como: son cultivo de cobertura para el suelo, con beneficios para la condición edáfica e incrementos en el contenido de carbono y la fijación de nitrógeno atmosférico y sus implicaciones para la producción de forraje. En general, el uso de estas especies (y otras de cobertura) constituye un recurso importante para la gestión favorable y sostenible de los sistemas de producción agrícola (Navarro *et al.*, 2007).

En este género se han identificado dos glucósidos pirimidínicos clasificados como factores no-nutritivos: vicina y convicina. Éstos compuestos fueron aislados en semillas de *Vicia sativa* y no se tiene conocimiento de elevadas concentraciones en otros órganos vegetales (Maya, 2009). Grela, Studziński y Matras (2001) señalan que estas moléculas provocan reacciones anémicas y desordenes metabólicos en humanos y animales, pero también cumplen un papel preventivo (cuando se consume en bajas concentraciones) en arritmia cardíaca y propiedades antitumorales.

La producción y calidad del forraje de *V. sativa*, veza común o ebo (nombre común), depende del ecotipo que se trate, el manejo agronómico al cultivo y la asociación con otras especies de valor forrajero (Sürmen *et al.*, 2011; Yolcu, 2011; Mikić *et al.*, 2013).

Sürmen, Yavuz y Çankaya (2011) reportan rendimiento de 6,700 kg MS ha⁻¹ cuando el cultivo recibió 60 kg de fósforo ha⁻¹ y el forraje fue cosechado en plena floración, los autores también refieren que el contenido de fibra detergente neutro (FDN) se incrementó cuanto mayor fue el nivel de fertilización fosforada. Por su parte, Yolcu (2011) encontró diferencias en la producción de MS y contenido de PC al fertilizar con distintas fuentes de fertilización orgánica.

V. sativa presenta una gran diversidad genética, alto potencial forrajero para ser aprovechado y mejorar la producción de MS y semilla, y es recomendable utilizar variedades que incrementen la calidad nutricional del forraje (concretamente el contenido de PC) en monocultivo o en asociación con gramíneas (Mikić *et al.*, 2013).

2.2.3 *Vicia villosa*

Vicia villosa, es una leguminosa adaptada a la época fría del año, es cultivada para producir forraje, puede ser aprovechado en pastoreo, heno, ensilado y la producción de semilla (Larbi *et al.*, 2011). Así mismo se emplea como abono verde y cultivo para cobertura como opción para mejorar la productividad del suelo (Covaleda *et al.*, 2006).

Larbi, Abd, Nakkoul, Jammal y Hassan (2011) señalan que *V. villosa* presenta mejores características para ser pastoreada por el ganado que otras especies del mismo género, por su ciclo vegetativo largo, alta producción de forraje y bajo porcentaje de utilización del forraje por el ganado.

2.3 Asociaciones de gramíneas con leguminosas

La asociación de distintas especies forrajeras es una práctica agronómica que se realiza en muchas regiones del mundo y representa una herramienta potencial para mejorar la producción de forrajes. De manera tradicional se reconoce que al utilizar leguminosas como cultivo antecesor al cultivo de gramíneas forrajeras se mejora el contenido de nitrógeno en los tejidos de avena y cebada. Lo anterior puede representar una herramienta para incrementar la eficiencia productiva del sistema de producción, mediante una mejora en el contenido proteico del forraje a través de los procesos involucrados en la transferencia (mineralización) del nitrógeno (Samarappuli *et al.*, 2014).

Un aspecto importante de la asociación de gramíneas y leguminosas, es que se mejora el contenido nutrimental de la dieta, por ejemplo, Budakli y Melis (2012) evaluaron proporciones de *V. sativa* con gramíneas de invierno y encontraron que una mezcla de 75:25 % de *V. sativa*: avena aunque no mostró diferencia significativa en la producción de forraje, si mejoró el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA) y FDN en el forraje, respecto al monocultivo de avena. En el mismo estudio los autores encontraron que al asociar cebada y trigo con *V. sativa* en la misma proporción, se incrementó la producción de forraje. Lo anterior concuerda a lo que señalan Budakli y Celik (2014) al referirse a que la asociación de gramínea: leguminosa (triticale, rye grass: ebo) mejora atributos de la pradera como índice de área foliar y radiación interceptada en comparación al monocultivo de la gramínea.

Así mismo, la producción de forraje de las asociaciones se ve mejorada en comparación a los respectivos monocultivos, porque las variaciones en la composición botánica de la pradera influyen en su rendimiento estacional y anual (Flores-Santiago *et al.*, 2015; Moreno-Carrillo *et al.*, 2015).

Flores-Santiago, Hernández-Garay, Guerrero-Rodríguez, Quero-Carrillo y Martínez-Hernández (2015) señalan que el cultivo de asociaciones gramíneas-leguminosas incrementa aspectos de la pradera como la radiación interceptada, respecto al monocultivo de las especies. En su investigación observaron que en general, el porcentaje promedio de radiación interceptada fue de 86, 88, 92 y 93 % en invierno, otoño, primavera y verano, respectivamente. También que la estacionalidad en el porcentaje de radiación interceptada, estuvo directamente asociado con la distribución estacional del rendimiento de forraje, por lo que a mayor radiación estacional interceptada, mayor rendimiento de forraje, independientemente de la asociación.

Otros de los beneficios derivados de la asociación parecen estar relacionado con el número de especies como lo muestra el trabajo de Sanderson, Soder, Muller, Klement, Skinner y Goslee (2005), quienes observaron que en la época de estiaje, las praderas con menor número de especies asociadas (dos especies) produjeron menor cantidad de forraje que aquellas con más de seis especies. Del mismo modo, señalan que la diferencia entre especies asociadas, favorece la producción de forraje en el tiempo, debido al hábito de crecimiento de éstas y su periodo de establecimiento en la pradera.

Por lo anterior, el cultivo de asociaciones para la época de otoño e invierno en las zonas templadas puede representar una herramienta para mejorar la producción de forraje en esta época crítica.

2.4 Fertilización nitrogenada en praderas de clima templado

La fertilización nitrogenada constituye una herramienta importante para alcanzar los objetivos productivos de las especies forrajeras anuales y mejorar el contenido proteico de las mismas; sin embargo, también es importante considerar la eficiencia de utilización de N por los cultivos, porque es posible perder por lixiviación parte del nitrógeno aplicado al sistema en condiciones susceptibles (Restelatto *et al.*, 2013).

Álvarez-Sánchez, Améndola-Massiotti, Cristóbal-Acevedo y Soto-Barajas (2014) señalan que del N consumido a través del forraje, vacas en apacentamiento solo retuvieron 22 % para producción de leche y cambios de peso, el resto reingresó al sistema suelo-planta a través de deyecciones. Del mismo modo, observaron que el manejo de la pradera y del hato, tienen el potencial de incrementar el riesgo de contaminación ambiental por lixiviación de nitrógeno inorgánico (Nin).

En otro estudio realizado en un sistema de producción de leche en pastoreo en la zona templada de México (Améndola-Massiotti *et al.*, 2011), se encontró que las pérdidas de Nin por lixiviación se incrementaban al aumentar la dosis de N al cultivo de maíz dentro de la rotación con praderas. Esto como resultado de acumulaciones sucesivas de nitrógeno derivadas de los residuos, en particular de los ciclos de cultivo de praderas plurianuales de alfalfa con ovillo, en las que la concentración de Nin en el estrato superficial del suelo (0-30 cm) fue elevada (366 kg Nin ha⁻¹).

Cuando se establecen praderas plurianuales de gramíneas y leguminosas, una ventaja adicional al incremento en rendimiento de MS es la disminución de la fertilización nitrogenada año con año; del mismo modo se observó que al incrementar la fertilización de N a este tipo de praderas, disminuyó la proporción de leguminosas en la asociación lo que implica una disminución en la producción de MS después de tres años de cultivo (Nyfeler *et al.*, 2009).

Finalmente, cabe señalar que la disponibilidad de humedad en el suelo (irrigación o precipitación) para las plantas, es un factor importante para considerar los procesos de mineralización, lixiviación y cambio de N en el suelo, sin importar factores del uso de suelo y prácticas de fertilización (Améndola-Massiotti *et al.*, 2011; Álvarez-Sánchez *et al.*, 2014).

2.5 Literatura citada

- Aguinaga Q., A. A., P. C. de F. Carvalho, I. Anghinoni, A. Pilau, A. J. Q. Aguinaga & G. D. F. Gianluppi. (2008). Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37 (9), 1523-1530.
- Álvarez-Sánchez, E., R. Améndola-Massiotti, D. Cristóbal-Acevedo & M. C. Soto-Barajas. (2014). Pérdidas de nitrógeno por lixiviación en una pradera mixta pastoreada en clima templado. *Revista. Fitotecnica Mexicana*, 37 (3), 271 – 278.
- Améndola-Massiotti, R. D., I. Cach-Gómez, E. Álvarez-Sánchez, I. López-Cruz, J. Burgueño-Ferreira, P. Martínez-Hernández & D. Cristóbal-Acevedo. (2011). Balance de nitrógeno en maíz forrajero con diferente fertilización y fase de rotación con praderas. *Agrociencia*, 45 (2), 177-193.
- Améndola M., R. D., E. Castillo & P. A. Martínez H. (2005). Country Pasture/Forage Resource Profiles México. *FAO*.
- Budakli C., E. & N. Celik. (2014). Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(1), 66-69.
- Budakli C., E. & M. Melis T. (2012). Effects of mixture rates on forage yield and quality of mixtures of common vetch combined with oat, barley and wheat under a winter intercropping system of southern Marmara Region. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (2), 649-652.
- Covaleda, S., S. Pajares, J. F. Gallardo & J. D. Etchevers. (2006). Short-term changes in C and N distribution in soil particle size fractions induced by agricultural practices in a cultivated volcanic soil from Mexico. *Organic Geochemistry*, 37, 1943–1948.
- Crews, T. E. & M. B. Peoples. (2004). Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102, 279–297.
- Duchini, P. G., G. C. Guzatti, H. M. N. Ribeiro Filho & A. F. Sbrissia. (2013). Tiller size/density compensation in temperate climate grasses grown in monoculture or in intercropping systems under intermittent grazing. *Grass and Forage Science*, 69, 655–665.
- Federizzi, L. C. & C. M. Mundstock. (2004). Fodder oats: an overview for South America. In: J. M. Suttie and S. G. Reynolds (Ed). *Fodder oats: A world overview* Vol. 33. *FAO*, 37-51 pp.
- Flores-Santiago, E. J., A. Hernández Garay, J. D. Guerrero-Rodríguez, A. R. Quero- Carrillo & P. A. Martínez-Hernández. (2015). Productividad de asociaciones de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne

- (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6(3), 337-347.
- Grela, E. R., T. Studziński & J. Matras. (2001). Antinutritional factors in seeds of *Lathyrus sativus* cultivated in Poland. *Lathyrus Lathyrism Newsletter*, 2, 101-104.
- Hudson, D. J., R. H. Leep, T. S. Dietz & A. Kravchenko. (2010). Integrated warm and cool season grass and legume pastures: I. Seasonal forage dynamics. *Agronomy Journal*, 102, 303-309.
- Kurtz, D. B., F. Asch, M. Giese, C. Hülsebusch, M.C. Goldfarb & J. F. Casco. (2016). High impact grazing as a management tool to optimize biomass growth in northern Argentinean grassland. *Ecological Indicators*, 63, 100–109.
- Larbi, A, A. M. Abd E., H. Nakkoul, B. Jammal & S. Hassan. (2011). Intra-species variations in yield and quality determinants in *Vicia* species: 4. Woolly-pod vetch (*Vicia villosa* ssp. *dasycarpa* Roth). *Animal Feed Science and Technology*, 164, 252–261.
- Lauriault, L. M. & R. E. Kirksey. (2004). Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass–legume intercrops in the Southern High Plains, USA. *Agronomy Journal*, 96, 352–358.
- Maya O., K. 2009. Caracterización física, nutricional y no nutricional de haba sometida a tratamiento térmico. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. 164 pp.
- Mikić, A., V. Mihailović, B. Čupina, S. Vasiljević, B. Milošević, S. Katanski, R. Matic, V. Radojević & M. Kraljević-Balalić. (2013). Agronomic characteristics related to grain yield and crude protein content in common vetch (*Vicia sativa*) accessions of diverse geographic origin. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 56 (4), 297–308.
- Moreno-Carrillo, M. A., A. Hernández-Garay, H. Vaquera-Huerta, C. Trejo-López, J. A. Escalante-Estrada, J. L. Zaragoza-Ramírez & B. M. Joaquín-Torres. (2015). Productividad de siete asociaciones y dos praderas puras de gramíneas y leguminosas en condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38 (1), 101–108.
- Muir, J. P., W. D. Pitman & J. L. Foster. (2011). Sustainable, low-input, warm-season, grass–legume grassland mixtures: mission (nearly) impossible? *Grass and Forage Science*, 66, 301–315.
- Navarro G., H., M. A. Pérez O. & F. Castillo G. (2007). Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en Valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30 (2), 151-157.

- Nyfelner, D., O. Huguenin-Elie, M. Suter, E. Frossard, J. Connolly & A. Lüscher. (2009). Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *Journal of Applied Ecology*, 46, 683–691.
- Pin, E. A., A. B. Soares, J. C. Possenti & J. M. Ferrazza. (2011). Forage production dynamics of winter annual grasses sown on different dates. *R. Bras. Zootec.*, 40 (3), 509-517.
- Rahmati, T., A. Azarfar, A. Mahdavi, K. Khademi, F. Fatahnia, H. Shaikhahmadi & B. Darabighane. (2012). Chemical composition and forage yield of three *Vicia* varieties (*Vicia* spp.) at full blooming stage. *Italian Journal of Animal Science*, 11 (e57), 309-311.
- Restelatto, R., P. S. Pavinato, L. R. Sartor & S. J. Paixao. (2013). Production and nutritional value of sorghum and black oat forages under nitrogen fertilization. *Grass and Forage Science*, 69, 693–704.
- Sánchez G., R. A., H. Gutiérrez B., A. Serna P., R. Gutiérrez L. y A. Espinoza C. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5 (2), 131-142.
- Sanderson, M. A., K. J. Soder, L. D. Muller, K. D. Klement, R. H. Skinner & S.C. Goslee. (2005). Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. *Agronomy Journal*, 97, 1465-1471.
- Samarappuli, D. P., B. L. Johnson, H. Kandel & M. T. Berti. (2014). Biomass yield and nitrogen content of annual energy/forage crops preceded by cover crops. *Field Crops Research*, 167, 31–39
- SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2014). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Consultado el 16 de octubre de 2016.
- Sürmen, M., T. Yavuz & N. Çankaya. (2011). Effects of phosphorus fertilization and harvesting stage on forage yield and quality of common vetch. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9 (1), 353-355.
- Yolcu, H. (2011). The effects of some organic and chemical fertilizer applications on yield, morphology, quality and mineral content of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 16 (2), 197-202.

3. CONSUMO APARENTE Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE FORRAJE DE *Avena strigosa* Y *Vicia* spp.¹

3.1 Resumen

Se evaluó el consumo aparente y composición nutricional del forraje de praderas de *Avena strigosa* y sus mezclas con *Vicia sativa* y *Vicia villosa* y los correspondientes cambios en el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo. Las praderas se manejaron bajo pastoreo con vacas lecheras durante otoño e invierno, en dos fechas de siembra, temprana y tardía. El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones; la fecha de siembra fue parcela mayor y en las parcelas menores se ubicaron las siguientes praderas: *A. strigosa*, *A. strigosa* con *V. sativa*, *A. strigosa* con *V. villosa* y la triple asociación. El monocultivo de *A. strigosa* (avena) se fertilizó con 60 kg N ha⁻¹ por ciclo de pastoreo. El primer pastoreo fue al día 56 después de la siembra y con intervalos de 35 días, se realizaron cuatro y cinco pastoreos para fecha de siembra temprana y tardía, respectivamente. La mezcla de *A. strigosa* y *V. villosa* en siembra temprana produjo la mayor ($P<0.05$) cantidad de consumo aparente de forraje (11,000 kg MS ha⁻¹). El contenido de proteína cruda fue diferente ($P<0.05$) entre fecha de siembra y praderas con un intervalo de 15 a 22 %. Los contenidos de fibras detergentes neutro y ácido redujeron en 8 % ($P<0.05$) con la inclusión de *Vicia*, respecto al monocultivo de avena. Los cambios en contenido de nitrógeno inorgánico del suelo bajo asociaciones de avena con leguminosas se relacionaron positiva y linealmente ($R^2=0.63$) con la cantidad de nitrógeno en el forraje cosechado. Además del alto consumo aparente y buena composición nutricional, la asociación de *A. strigosa* con *V. villosa* en siembra temprana implicó frente al monocultivo de la gramínea, la ventaja adicional del ahorro en el gasto de fertilizante nitrogenado y el aumento de 8.7 ppm en el contenido de N inorgánico en el suelo.

Palabras clave: fecha de siembra, nitrógeno, suelo, productividad.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Juan Carlos Quiroz Pérez. Director: Ricardo D. Améndola Massiotti.

Apparent herbage intake and nutritional composition of *Avena strigosa* and *Vicia* spp herbage²

3.2 Abstract

The study was aimed at the evaluation of apparent herbage intake, nutritional composition of forage and correspondent changes in inorganic nitrogen content in soils of *Avena strigosa* monoculture and its mixtures with *Vicia sativa* and *Vicia villosa*. Pastures were grazed by dairy cows during autumn and winter under early and late sowing dates. The experiment was carried out in a randomized block design with a split plot arrangement, where sowing dates were whole plots and the following mixtures were split plots: *A. strigosa* (oats) monoculture, *A. strigosa* with *V. sativa*, *A. strigosa* with *V. villosa* and the three-species mixture. Oats monoculture was fertilized with 60 kg N ha⁻¹ per grazing cycle. The first grazing cycle took place 56 days after sowing, and four (early sowing) or three (late sowing) subsequent grazing cycles at intervals of 35 days. The *A. strigosa* and *V. villosa* mixture at early sowing with 11,000 kg MS ha⁻¹ yielded the highest ($P<0.05$) apparent herbage intake. Crude protein content differed ($P<0.05$) among sowing dates and species mixtures within a 15 to 22 % interval. Neutral and acid detergent fiber contents improved in 8 % ($P<0.05$) with the inclusion of legumes compared to oats monoculture. Changes in the inorganic nitrogen content of soils under oats legume mixtures were positive and linearly related ($R^2=0.63$) to the amount of nitrogen harvested. The *A. strigosa* and *V. villosa* mixture, compared to the oats monoculture, yielded higher apparent herbage intake of better nutritional composition, with the advantage of saving in nitrogen fertilizer, and increasing in 8.7 ppm in the inorganic nitrogen content of the soil.

Key words: Date of sowing, nitrogen, soil, productivity.

² Thesis of Master of Science in Livestock Innovation, Universidad Autónoma Chapingo. Author: Juan Carlos Quiroz Pérez. Advisor: Ricardo D. Améndola Massiotti

3.3 Introducción

Las praderas plurianuales de alfalfa en asociación con gramíneas o en monocultivo, en rotación con el cultivo de maíz (para ensilar) y forrajes anuales de invierno, constituyen la base forrajera más frecuente tanto en el sistema especializado de producción de leche, como en el de producción en pastoreo.

En los sistemas de producción bajo pastoreo de zonas templadas, se presenta un déficit de forraje durante otoño e invierno, debido a bajas temperaturas y disminución de la radiación solar, condiciones que limitan el crecimiento de las especies forrajeras en comparación con el período favorable de primavera y verano. En estas condiciones, la producción y calidad de especies forrajeras para el ciclo otoño e invierno resulta importante. En México, *Avena sativa* es la opción de cultivo más difundida para amortiguar la escasez de forraje (Sánchez *et al.*, 2014). En regiones subtropicales y templadas de México, Chile, Perú y Argentina *Avena strigosa* destaca como una especie de mayor producción de materia seca respecto a *A. sativa* (Federizzi & Mundstock, 2004), pero es preciso conocer su productividad y calidad nutricional asociada con otras especies de alto valor forrajero como las leguminosas, tal es el caso de las especies del género *Vicia* que además aportan nitrógeno al sistema y se consideran mejoradoras del suelo (Covaleda *et al.*, 2006). Por consiguiente, se requiere ampliar el conocimiento sobre las especies forrajeras (gramíneas y leguminosas) que se pueden utilizar en zonas templadas del país en condiciones de riego para otoño e invierno.

Convencionalmente las gramíneas forrajeras invernales se fertilizan con altos niveles de nitrógeno, por lo que la inclusión de leguminosas asociadas que necesariamente reduce la fertilización nitrogenada, debería promover la sostenibilidad del sistema al reducir el uso de energía exógena y la contaminación del suelo y aguas superficiales por los procesos de lixiviación (Crews & Peoples, 2004). Así mismo, como contribución adicional al mejoramiento de la sostenibilidad del sistema, la reducción en la compra de

fertilizantes, representa una disminución considerable a los costos de producción del forraje. Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron evaluar durante el ciclo otoño e invierno el consumo aparente y la composición nutricional del forraje de praderas de *Avena strigosa* y sus asociaciones con *Vicia sativa* y *Vicia villosa* bajo pastoreo con vacas lecheras; así mismo, caracterizar los cambios en el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo, con la finalidad de optimizar el manejo de estas praderas de clima templado.

3.4 Materiales y métodos

El experimento se realizó entre septiembre de 2015 y marzo de 2016 en la Universidad Autónoma Chapingo, México, (19° 29' N, 98° 54' O y 2250 msnm). El clima del área de estudio [Cwb(i)g] es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación de 636.5 mm y temperatura media anual de 17.2 °C (García, 1987). En la Figura 1 se presenta la precipitación, las temperaturas máximas y mínimas del 8 septiembre de 2015 al 15 de marzo de 2016.

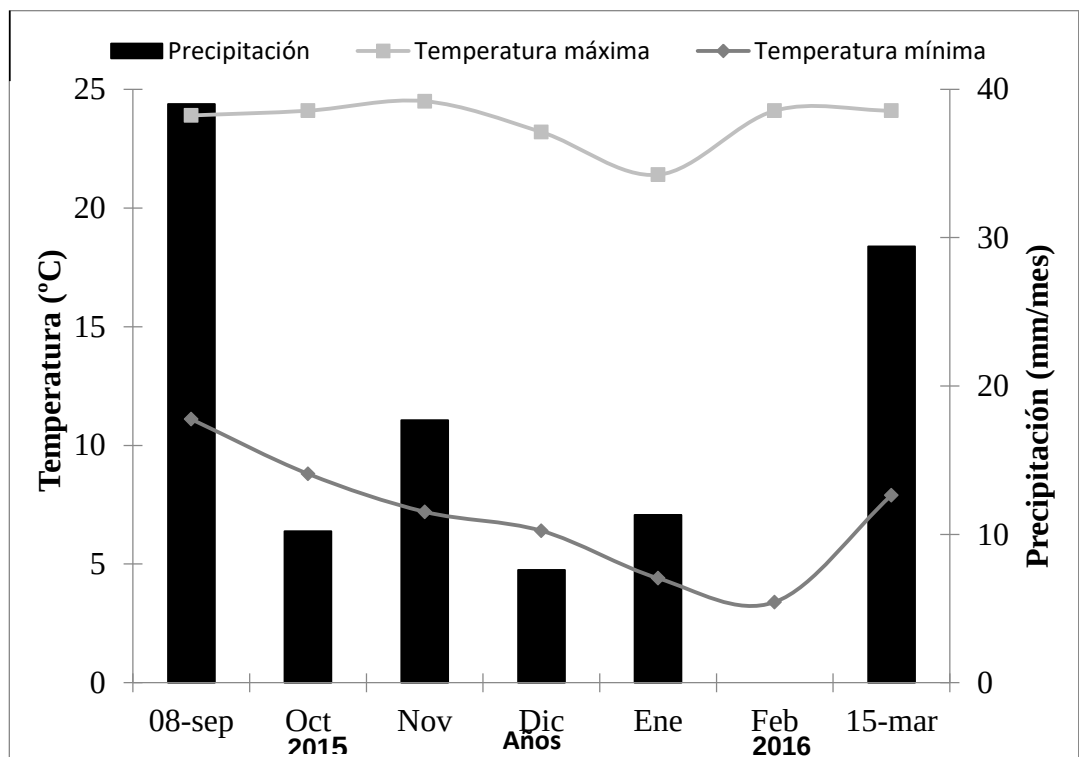


Figura 1. Climograma en Chapingo, México durante otoño e invierno.

El suelo del sitio es Argiustol Vertico profundo de textura migajón arcilloso, densidad aparente 1.3 g cm³, pH 6.9 y 2.32 % de materia orgánica. En el Cuadro 1 se presentan las características químicas del suelo a 30 cm de profundidad previo al inicio del experimento.

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo del sitio experimental.

^z CE	Ca	K	Mg	S- SO ₄	P- Olsen	Mn	Cu	Zn	Fe	B	^y N _{in}
uS	me/100 g			Ppm							
103.2	7.77	0.64	4.09	1.53	10.62	24.06	1.06	1.16	15.07	1.84	24

^zCE=conductividad eléctrica; ^yN_{in}= nitrógeno inorgánico

Los tratamientos evaluados consistieron en la combinación factorial de praderas sembradas a dos fechas. Las praderas fueron: 1) *A. strigosa* fertilizada con N, y las asociaciones 2) *A. strigosa* con *V. sativa*, 3) *A. strigosa* con *V. villosa* y 4) *A. strigosa* con *V. sativa* y *V. villosa*. Las fechas de siembra fueron 08/09/2015 (temprana) y 12/10/2015 (tardía).

El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones en parcelas divididas; la parcela mayor (360 m²) fue fecha de siembra y la parcela menor (90 m²) la pradera.

El área experimental se sembró después de un cultivo de avena en verano, para la siembra el suelo fue barbechado y rastreado de forma cruzada. La siembra se realizó al voleo con un paso de rastra ligero para cubrir las semillas. La densidad de siembra de *A. strigosa* en monocultivo fue 140 kg ha⁻¹ y 100 kg ha⁻¹ en las asociaciones, en el caso de las especies de *Vicia* spp. fueron 30 kg ha⁻¹ en las asociaciones simples y 15 kg ha⁻¹ en la asociación triple. Todas las parcelas se fertilizaron con 18 N kg ha⁻¹ y 105.3 kg P₂O₅ con la fuente fosfato diamónico a la siembra. Avena en monocultivo recibió fertilización con 60 kg N ha⁻¹, por ciclo de pastoreo. La fuente de fertilización nitrogenada fue sulfato de amonio.

Se aplicaron 10 riegos mediante aspersión, el volumen total de agua irrigada fue 620 mm, éste fue medido con un pluviómetro instalado en las praderas; cada riego se aplicó en intervalo promedio de 13.9 ± 0.3 días.

El primer ciclo de pastoreo se realizó 56 días después de la siembra, debido a la altura que presentó el primer nudo en avena (5 cm) procurando que el rebrote de las plantas no se viera influenciado por esta característica. Para los pastoreos subsecuentes se estableció un intervalo de 35 días.

Para estimar el consumo aparente de forraje (CAF), se tomaron muestras por parcela menor previas al pastoreo, cortando con tijeras la masa de forraje ofrecido (MFO) en cuatro muestras de 0.32 m^2 a ras de suelo y posterior al pastoreo, se tomaron cuatro muestras cortando la masa de forraje residual (MFR) de la misma manera. El consumo aparente se calculó como la diferencia obtenida entre las masas de forraje ($\text{CAF} = \text{MFO} - \text{MFR}$). Al final del experimento se sumaron los CAF de cada ciclo de pastoreo, para obtener el CAF total en el periodo experimental.

El material cosechado se pesó en fresco y de las cuatro muestras se obtuvo una muestra compuesta para determinar el contenido de materia seca (MS); para ello las muestras se secaron en una estufa con circulación forzada de aire a 55°C hasta peso constante. La estimación de la eficiencia de utilización del forraje (EUF) se calculó con CAF como porcentaje de MFO.

Para los atributos del forraje (composición botánica, morfológica y nutricional) se obtuvieron muestras por cada ciclo de pastoreo realizado, mismo que puede expresarse como días después de la siembra (dds).

Para determinar la composición botánica y morfológica de la pradera se obtuvieron muestras de aproximadamente 200 g de forraje por medio de pastoreo simulado o “hand plucking” (Bonnet *et al.*, 2011). Esas muestras se separaron manualmente las especies sembradas y las especies no sembradas, y para determinar la composición morfológica, se separaron manualmente hoja,

tallo y material muerto de cada especie sembrada, posteriormente todo el material se secó de la misma manera que se hizo para la estimación de MS.

Las muestras de forraje obtenidas por “hand plucking” fueron procesadas en un molino Wiley® con criba de 1 mm. A todas las muestras se les determinó el porcentaje de proteína cruda (PC) por el método de micro Kjeldahl ($PC = N \times 6.25$) (AOAC, 2005). Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron por la técnica de detergentes con un analizador de fibras ANKOM Technology (2015). El contenido de cenizas, se estimó mediante incineración a 550° C hasta alcanzar cenizas blancas (AOAC, 1990).

El suelo se analizó para determinar nitrógeno inorgánico según la metodología de Brenner (1965) y mediante la extracción con KCl 2N de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAP, 2002); se tomaron 10 muestras, por parcela menor, con una barrena de cilindro a 30 cm de profundidad para constituir una muestra compuesta que se secó a la sombra y fue tamizada en criba de 1 mm. Con base en el consumo aparente (kg MS ha^{-1}) y el contenido de N del forraje (g kg^{-1}) se calculó el N cosechado (kg N ha^{-1}). Este resultado se empleó para calcular la relación lineal entre nitrógeno cosechado en el forraje y cambios en el contenido de nitrógeno inorgánico en suelo.

Para comparar el efecto de las praderas estudiadas y la fecha de siembra, se realizó un análisis de varianza con el modelo AR1 de Modelos Mixtos (SAS, 2004), para un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las medias se compararon mediante prueba de T ($P < 0.05$).

3.5 Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos para CAF total para el ciclo de producción de tratamiento (pradera $\times$ fecha de siembra). La interacción pradera $\times$ fecha de siembra fue significativa ($P < 0.05$), el mayor CAF ($P < 0.05$) correspondió a *A. strigosa* con *V. villosa* en fecha de siembra temprana,

seguido por la triple asociación y *A. strigosa* fertilizada también en fecha de siembra temprana ($P < 0.05$), en tanto que el menor CAF ($P < 0.05$) se registró en fecha de siembra tardía con *A. strigosa* con *V. sativa*.

Estos resultados se asocian a las características de *V. villosa* que, con relación a *V. sativa*, es más resistente a bajas temperaturas, más rústica y hojosa y permanece verde durante más tiempo (UPNA, 2009). Del mismo modo Coraglio, Vieyra y Nienstedt (2001) señalan que en condiciones de estrés hídrico o bajas temperaturas *V. villosa* tiene mejor comportamiento que *V. sativa*, específicamente mayor producción de MS y capacidad de competir con otras especies.

Por otra parte, al considerar el efecto principal fecha de siembra, CAF fue 19 % mayor en fecha de siembra temprana lo cual pudo estar asociado a que la temperatura media del período de crecimiento de la fecha de siembra temprana es 14.0°C frente a 13.5°C en el caso de la fecha de siembra tardía; respecto a la temperatura media histórica (16.2°C media 1981-2010) se obtuvieron temperaturas 17.8 % más bajas en el periodo de evaluación; esa menor temperatura probablemente redujo las tasas de acumulación de forraje, particularmente en el caso de *A. strigosa*, dado que es una especie sensible a bajas temperaturas (Pin *et al.*, 2011).

Los resultados encontrados en *A. strigosa* fueron 91 y 74 % superiores en fecha de siembra temprana y tardía respectivamente, a los 4,763 kg MS que reportan Sánchez, Gutiérrez, Serna, Gutiérrez y Espinoza (2014) para la misma especie en condiciones de secano en México, cosechada en estado masoso-lechoso del grano; pero en promedio 30 % menores en ambas fechas a los reportados en condiciones climáticas similares a las de este experimento por Wilson (2015), en cuyo caso el máximo rendimiento 12,188 kg MS ha⁻¹ se obtuvo con un corte al día 141 después de la siembra.

Cuadro 2. Consumo aparente de forraje (kg MS ha⁻¹) de *Avena strigosa* con *Vicia* spp. en dos fechas de siembra.

Pradera	Fecha de siembra		P
	08/09/15	12/10/15	
<i>A. strigosa</i>	9,000 b	8,200 a	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	7,700 c	6,300 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	11,000 a	8,400 a	0.002
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	9,500 b	8,300 a	>0.05
Medias de fecha de siembra	9,300 y	7,800 z	

abc medias con una misma literal en cada columna no son diferentes $P < 0.05$; yz medias con una misma literal en cada hilera no son diferentes $P < 0.05$; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados para la eficiencia de utilización del forraje (EUF) de las praderas en cada fecha de siembra. La interacción pradera $\times$ fecha de siembra fue significativa ($P < 0.05$); la mayor EUF se observó para *A. strigosa* en la fecha de siembra tardía, seguida por *A. strigosa* + *V. sativa* en ambas fechas de siembra. *A. strigosa* tuvo diferente EUF ($P < 0.05$) entre fechas de siembra, pero igual CAF ($P > 0.05$), ese mayor consumo aparente en la fecha de siembra tardía, representa una oportunidad de manejo del apacentamiento en praderas con esta especie para mejorar la eficiencia productiva en el periodo de otoño e invierno. Al respecto Kunratha, Cadenazzi, Brambilla, Anghinonia, Moraes y Carvalho (2014) indican que la intensidad de pastoreo es un factor que determina el periodo de utilización de praderas con especies forrajeras de invierno.

La EUF de los tratamientos que incluyeron *V. villosa* fue 7 % menor que la de los tratamientos que no la incluyeron; en relación con este resultado, Terrill, Whitehead, Durham, Hoveland, Singh y Gelaye (2004) encontraron que *V. villosa* fue menos preferida por cabras que varias especies de leguminosas anuales (superando en preferencia únicamente a *Trifolium hirtum*).

La EUF de la triple mezcla en la primera fecha de siembra fue 24 % menor ($P < 0.05$), respecto a la mayor EUF encontrada. Lo anterior se relaciona con un mejor establecimiento de *V. villosa* en fecha temprana y concuerda a lo que señala la literatura con respecto al ciclo fenológico más largo, bajo índice de cosecha y las características botánicas de *V. villosa* en relación a *V. sativa*

(Larbi *et al.*, 2011). Del mismo modo Coraglio, Vieyra y Nienstedt (2001) señalan que en condiciones de estrés hídrico o bajas temperaturas *V. villosa* tiene mejor comportamiento que *V. sativa*, específicamente en mayor producción de MS y capacidad de competir con otras especies. En promedio no hubo diferencia ($P>0.05$) en la EUF en las praderas simples de especies de *Vicia* con avena.

Cuadro 3. Eficiencia de utilización (%) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra.

Pradera	Fecha de siembra		P
	08/09/15	12/10/15	
<i>A. strigosa</i>	60 ab	73 a	<0.001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	64 a	65 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	61 a	64 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	56 b	63 b	0.009
Medias de fecha de siembra	60 z	66 y	

ab medias con una misma literal en cada columna no son diferentes $P<0.05$; yz medias con una misma literal en cada hilera no son diferentes $P<0.05$; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

En los cuadros siguientes (Cuadros 4 a 9) se presentan los resultados obtenidos para los atributos del forraje aparentemente consumido por cada ciclo de pastoreo (dds) para ambas fechas de siembra, vale decir que los datos se analizaron por pradera, fecha de siembra y dds (ciclo de pastoreo) para cada variable de interés.

La proporción de *V. villosa* (Cuadro 4) aumentó 50 % a partir de 92 dds en las praderas correspondientes; su proporción se triplicó en la mezcla con *A. strigosa*, respecto a la mezcla de ambas leguminosas ($P<0.05$), posiblemente como consecuencia de la competencia que ocurrió al momento de establecimiento.

En general para las praderas de gramínea y leguminosas, *V. villosa* en comparación con *V. sativa* fue más persistente y se adaptó con mayor facilidad a las condiciones climáticas del invierno, lo que resultó en el mayor aporte que mostró en la masa de forraje ($P<0.05$), que se expresó en la triple mezcla en los dos últimos ciclos de pastoreo cuando el aporte de *V. villosa* superó en promedio 15 % al de *V. sativa*; lo anterior concuerda con lo descrito en la

literatura respecto al ciclo productivo de *Vicia* spp. (Coraglio *et al.*, 2001; Larbi *et al.*, 2011).

Cuadro 4. Composición botánica (kg MS ha⁻¹) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.

	Pradera	As		As + Vs		As + Vv		As + Vs + Vv	
		08/09	12/10	08/09	12/10	08/09	12/10	08/09	12/10
56 dds ^s	<i>A. strigosa</i>	3193	2609	1802	1246	2149	1865	1541	1376
	<i>V. sativa</i>			772	535			728	560
	<i>V. Villosa</i>					755	590	532	396
	Total	3193 a	2609 c	2574 c	1781 d	2904 b	2455 c	2801 b	2332 c
92 dds	<i>A. strigosa</i>	2067	1827	1140	1283	1542	656	976	934
	<i>V. sativa</i>			400	754			213	440
	<i>V. Villosa</i>					542	488	226	457
	Otras		77				141		
	Total	2067 a	1904 ab	1540 c	2037 a	2084 a	1285 c	1415 c	1831 b
129 dds	<i>A. strigosa</i>	440	854	565	233	745	514	597	278
	<i>V. sativa</i>			314	148			293	132
	<i>V. Villosa</i>					302	364	317	162
	Otras	76	426		67	32	110	63	30
	Total	516 c	1280 a	879 b	448 c	1079 a	988 ab	1270 a	602 c
167 dds	<i>A. strigosa</i>	680	1452	606	1044	1000	1924	388	1616
	<i>V. sativa</i>			281	607			166	574
	<i>V. Villosa</i>					560	1703	190	1329
	Otras	277	817	195	438	136	74	47	72
	Total	957 d	2269 b	1082 d	2089 b	1696 c	3701 a	791 e	3591 a
189 dds	<i>A. strigosa</i>	1642		912		1912		1617	
	<i>V. sativa</i>			332				389	
	<i>V. Villosa</i>					1231		1099	
	Otras	625		415		97		129	
	Total	2267 b		1659 c		3240 a		3234 a	

^s días después de la siembra; abcde medias con una misma literal en cada hilera no son diferentes

En el Cuadro 5 se muestran los resultados para composición morfológica obtenidos durante el periodo experimental. La hoja de avena fue en todos los pastoreos de ambas fechas de siembra ($P < 0.05$) el componente con mayor proporción en cada mezcla (en promedio mayor a 40%), resultado que concuerda con lo que señala Wilson (2015) y que puede estar asociado con el hecho que *A. strigosa* es una especie de ciclo largo, lo que le permite mayor persistencia. Sin embargo, en la triple mezcla, el aporte de esta especie fue menor probablemente debido a la competencia de *Vicia* spp.

El componente hoja de las leguminosas mostró un comportamiento estable durante el experimento y en promedio aportó 20 % de la masa de forraje en las praderas simples, en el caso de la triple mezcla los componentes de las leguminosas fueron mayores en 50 % con respecto a las praderas simples ($P < 0.05$); a los 129 y 167 dds constituyeron casi 50 % de la masa de forraje lo que probablemente puede tener implicaciones positivas sobre la composición nutricional del forraje.

El aporte de material muerto y especies no sembradas fue mayor ($P < 0.05$) en el monocultivo de avena que en las praderas con leguminosas (Cuadro 4), concretamente para la fecha de siembra tardía; en relación a este resultado Moreno-Carrillo, Hernández-Garay, Vaquera-Huerta, Trejo-López, Escalante-Estrada, Zaragoza-Ramírez y Joaquín-Torres (2015) encontraron mayor proporción de especies no sembradas en monocultivo de gramíneas que en su mezcla con leguminosas en clima templado. Al respecto, Sanderson, Soder, Muller, Klement, Skinner y Goslee (2005) consignan que entre mayor sea el número de especies sembradas, la invasión de otras especies en las praderas se reduce. Lo anterior puede deberse a la falta de cobertura del suelo por especies de interés, que da paso a la aparición de otras especies no sembradas (Navarro *et al.*, 2007).

Cuadro 5. Composición morfológica (kg MS ha⁻¹) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.

	Pradera	As		As + Vs		As + Vv		As + Vs + Vv	
	Fecha de siembra	08/09	12/10	08/09	12/10	08/09	12/10	08/09	12/10
56 dds ^s	Hoja	2076	1774	1724	1158	1916	1522	1849	1422
	Tallo	1117	835	850	623	988	933	952	910
	Total	3193 a	2609 c	2574 c	1781 d	2904 b	2455 c	2801 b	2332 c
92 dds	Hoja	1344	1237	924	1365	1313	745	793	1136
	Tallo	723	590	616	672	771	399	622	695
	Total	2067 a	1827 b	1540 c	2037 a	2084 a	1144 d	1415 c	1831 b
129 dds	Hoja	300	554	619	255	679	595	813	410
	Tallo	140	300	260	126	368	283	394	162
	Material muerto			141	18		20		
	Total	440 c	854 b	1020 a	399 c	1047 a	898 b	1207 a	572 c
167 dds	Hoja	499	1021	649	1129	1136	2517	524	2478
	Tallo	181	431	238	522	424	1110	220	1041
	Total	680 c	1452 b	887 c	1651 b	1560 b	3627 a	744 c	3519 a
189 dds	Hoja	1140		847		2333		2200	
	Tallo	502		397		810		905	
	Total	1642 b		1244 c		3143 a		3105 a	

^s días después de la siembra; abcd medias con una misma literal en cada hilera no son diferentes

En el Cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de proteína cruda (PC) del forraje. La interacción fecha de siembra x pradera fue significativa para todos los ciclos de pastoreo ($P < 0.05$); en los dos primeros el contenido de PC fue mayor en la fecha temprana, caso contrario en los últimos ciclos en que fue mayor ($P < 0.05$) en la fecha tardía, probablemente relacionado a la selección que el ganado realizó al momento de consumir la MS presente en las praderas.

El contenido de PC entre praderas fue diferente ($P < 0.05$) para todos los ciclos de pastoreo, excepto a los 56 dds en la fecha temprana en que no existió diferencia entre praderas ($P > 0.05$), probablemente debido al estado vegetativo que presentaron las plantas (Guzatti *et al.*, 2015) y las condiciones climáticas en que crecieron, respecto a la fecha de siembra tardía (Figura 1). El factor edad de las plantas tiene influencia en el contenido de PC, Pires, Reis, Carvalho, Siqueira, Bernardes, Ruggieri, Almeida y Roth (2006) reportan contenido superior en *A. strigosa* cosechada a 40 dds. Sin embargo, en este estudio no fue posible evaluar el efecto de la edad, ya que, si bien las praderas aumentaron en edad, los rebrotes no lo hicieron; en el caso de fecha de siembra temprana no existió relación entre dds y contenido de PC (Cuadro 6, $R^2 = 0.048$), en tanto que en fecha de siembra tardía se presentó un incremento cuadrático de ese contenido ($R^2 = 0.998$); no se encontró explicación plausible para esta diferencia de respuesta.

Con excepción del primer ciclo de pastoreo, en promedio los contenidos de PC en *A. strigosa* + *V. sativa* fueron menores a los de la asociación de *A. strigosa* con *V. villosa*; en concordancia, Rahmati, Azarfar, Mahdavi, Khademi, Fatahnia, Shaikhahmadi y Darabighane (2012), reportan mayor contenido de PC en *V. villosa* que en *V. sativa*. Por otra parte, la baja persistencia y tolerancia al frío de *V. sativa* (UPNA, 2009) probablemente originó que en la triple mezcla, en la que por disminución de *V. sativa* el contenido de PC fue menor ($P < 0.05$) que la mezcla simple con cada *Vicia* sp.

El contenido promedio de PC encontrado en este estudio fue superior al que reporta Yolcu (2011) para monocultivo de *V. sativa*, que según el autor está fuertemente asociado a la condición de nutrientes en el suelo, especialmente al fósforo. En promedio los contenidos de PC del monocultivo de avena fueron 12 % superiores a los que reportan Améndola, Castillo y Martínez (2005) para los cultivos forrajeros de invierno con buena composición nutricional y los de *A. strigosa* + *V. villosa*, especialmente en el último ciclo de pastoreo, similares al de alfalfa (24.1 %).

Cuadro 6. Proteína cruda (%) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.

Efectos de la siembra, a diferentes días después de la siembra.			
Pradera	Fecha de siembra		P
	08/09/15	12/10/15	
56 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	20.6 a	16.5 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	20.3 a	16.0 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	20.2 a	14.6 c	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	20.0 a	17.7 a	<0.0001
92 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	17.1 a	18.6 a	0.0007
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	14.9 b	13.4 d	0.0006
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	17.3 a	15.2 c	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	14.3 b	16.2 b	<0.0001
129 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	15.8 b	20.1 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	18.3 a	17.4 c	0.04
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	18.2 a	21.0 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	14.7 c	17.9 c	<0.0001
167 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	19.7 b	20.3 c	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	17.1 d	19.9 d	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	23.1 a	24.5 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	19.1 c	22.0 b	<0.0001

abcd medias con misma literal en cada columna no difieren $P < 0.05$; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

Los resultados obtenidos en el contenido de FDN se presentan en el Cuadro 7. El contenido de FDN fue mayor ($P < 0.05$) en la fecha de siembra temprana respecto a la fecha tardía para los dos primeros ciclos de pastoreo, posiblemente ocasionado por las condiciones climáticas en que las plantas de la primera fecha de siembra se establecieron, la mayor temperatura (Figura 1),

debió favorecer la formación de paredes celulares, en los pastoreos subsecuentes no hubo efecto significativo ($P>0.05$), cuando para ambas fechas las condiciones de crecimiento fueron similares.

Cuadro 7. Fibra detergente neutro (%) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.

Fecha de siembra			
Pradera	08/09/15	12/10/15	P
56 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	55.1 a	52.8 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	53.2 b	47.1 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	52.6 c	45.7 c	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	54.0 b	45.9 c	<0.0001
92 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	49.0 b	45.8 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	50.5 a	47.2 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	46.6 c	46.9 a	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	49.8 ab	46.4 ab	<0.0001
129 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	52.4 a	49.4 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	45.3 c	47.7 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	48.0 b	48.2 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	45.0 c	45.2 c	>0.05
167 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	49.3 a	49.3 a	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	47.5 b	49.5 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	47.5 b	48.0 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	46.0 c	46.7 c	>0.05

abc medias con misma literal en cada columna no difieren $P<0.05$; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

Paris, Marchesan, Cecato, Newton, Ziech y Borges (2012) reportan para la asociación de *A. strigosa* + *V. sativa* un contenido mayor de FDN al que se encontró en el presente estudio; probablemente debido a que analizaron el forraje producido y no el aparentemente consumido, como en este caso; vale decir las vacas seleccionaron forraje con menor contenido de FDN.

El contenido de FDN fue menor en las asociaciones con leguminosas que en el monocultivo de avena, similar a lo que reportan Interrante, Biermacher, Kering y Butler (2012), con excepción del segundo ciclo de pastoreo (92 dds),

posiblemente debido a que *V. sativa* se expresó fenológicamente aportando mayor ($P<0.05$) MS respecto a los otros ciclos. Esto se explicaría con base en los resultados de Rahmati, Azarfar, Mahdavi, Khademi, Fatahnia, Shaikhahmadi y Darabighane (2012), quienes encontraron mayor contenido de FDN en *V. sativa* respecto a *V. villosa*. En los otros tres ciclos de pastoreo la mezcla gramínea-leguminosa redujo en promedio 8 % el contenido de FDN, respecto a *A. strigosa*. La disminución fue diferente entre fechas de siembra ($P<0.05$) y no en promedio entre praderas de *Vicia* sp ($P>0.05$). En cambio, este efecto no fue reportado por Budakli y Melis (2012) en asociaciones de *A. sativa* asociada con *V. sativa*.

La interacción fecha de siembra x pradera sobre el contenido de FDA (Cuadro 8) no resultó de fácil interpretación, a los 56 dds, ese contenido fue mayor ($P<0.05$) o tendió a ser mayor ($P= 0.051$) en fecha de siembra tardía; lo contrario ocurrió a los 92 dds con la excepción de *A. strigosa* + *V. villosa* ($P>0.05$) y a los 129 dds en los casos de *A. strigosa* y *A. strigosa* + *V. villosa*

Conforme avanzó el ciclo productivo, el contenido de FDA disminuyó, contrario a lo que señala Guzzatti, Duchini, Sbrissia y Ribeiro-Filho (2015) para el monocultivo de *A. strigosa* en pastoreo. La diferencia probablemente se origina en el hecho que Guzzatti, Duchini, Sbrissia y Ribeiro-Filho (2015) analizaron forraje ofrecido y no aparentemente consumido como es el presente estudio, las vacas debieron haber seleccionado forraje con menor contenido de FDA.

El forraje de las asociaciones de *A. strigosa* con *Vicia* spp. presentaron menor contenido de FDA durante los dos primeros pastoreos, resultado similar al reportado por Interrante, Biermacher, Kering y Butler (2012) respecto a *Vicia* sp, la mayor reducción ($P<0.05$) en FDA se observó en la triple mezcla, la que en promedio redujo 9 % el contenido de FDA respecto al monocultivo; sin embargo, ese efecto no se presentó en el último ciclo de pastoreo.

Rahmati, Azarfar, Mahdavi, Khademi, Fatahnia, Shaikhahmadi y Darabighane (2012) reportan diferencias en el contenido de FDA entre *V. sativa* y *V. villosa*, siendo esta última la que presenta el menor contenido, característica que pudo

apreciarse en la mayoría de las praderas y ciclos de pastoreo. El contenido de FDA para *A. strigosa* + *V. villosa* fue similar al que reportan Turk, Albayrak y Yüksel (2009) para *V. villosa*.

Considerando el promedio de fechas y praderas, el contenido de FDA disminuyó linealmente al avanzar el ciclo de producción, pasando de 26.6 % en el primer ciclo de pastoreo a 21.7 % en el último ciclo. Esa evolución estuvo probablemente asociada al incremento de la proporción de *V. villosa* en el forraje promedio del experimento.

Cuadro 8. Fibra detergente ácido (%) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.

Fecha de siembra		
Pradera	08/09/15	12/10/15
P		
56 días después de la siembra		
<i>A. strigosa</i>	27.5 a	28.8 a
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	26.4 b	27.5 b
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	24.8 c	27.3 b
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	24.1 c	26.3 c
92 días después de la siembra		
<i>A. strigosa</i>	27.7 a	22.0 c
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	27.6 a	23.1 b
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	24.8 c	24.8 a
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	26.6 b	22.1 c
129 días después de la siembra		
<i>A. strigosa</i>	24.3 a	22.2 c
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	23.4 b	23.1 b
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	22.7 b	24.8 a
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	21.6 c	21.0 d
167 días después de la siembra		
<i>A. strigosa</i>	22.3 a	21.5 ab
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	21.6 ab	21.9 a
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	21.4 b	21.0 b
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	22.1 ab	21.8 ab

abc medias con misma literal en cada columna no difieren $P < 0.05$; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos en la estimación de cenizas del forraje. Con una media de 10.5 ± 0.2 , los resultados se encontraron dentro del intervalo de 9-11 %, indicado por Hoffman (2005) como los contenidos de cenizas más frecuentes en muestras de forrajes.

En promedio el contenido de cenizas tendió a ser similar a lo largo del periodo de estudio, no se mostró tendencia clara sobre el incremento de este componente entre praderas ($P>0.05$), lo que puede tener relación con una edad de rebrote similar en los diferentes ciclos de pastoreo.

Cuadro 9. Cenizas (%) de forraje de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra, a diferentes días después de la siembra.

Fecha de siembra			
Pradera	08/09/15	12/10/15	P
56 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	11.5 a	9.1 b	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	12.0 a	11.0 a	0.0239
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	10.6 b	10.3 a	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	12.4 a	10.8 a	0.0007
92 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	9.5 b	10.5 a	0.0299
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	9.7 b	10.7 a	0.0266
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	10.0 ab	10.8 a	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	10.7 a	10.6 a	>0.05
129 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	12.0 a	10.3 b	0.0007
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	10.3 b	9.9 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	10.0 b	11.9 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	11.6 a	9.7 b	<0.0001
167 días después de la siembra			
<i>A. strigosa</i>	9.8 a	11.3 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	9.6 a	9.6 c	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	9.6 a	10.1 b	>0.05
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	9.5 a	10.4 b	>0.05

abc medias con misma literal en cada columna no difieren $P<0.05$; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

Los contenidos de cenizas en forraje de *A. strigosa* fueron semejantes a los que reportan Sánchez, Gutiérrez, Serna, Gutiérrez y Espinoza (2014). Para el caso de las praderas con *Vicia* spp., puede observarse que no existió una tendencia clara sobre una especie con mayor proporción de cenizas, en contradicción con lo reportado por Rahmati, Azarfar, Mahdavi, Khademi, Fatahnia, Shaikhahmadi y Darabighane (2012), quienes señalan que el contenido de cenizas en *V. villosa* es mayor que en *V. sativa*. Los resultados encontrados en el presente estudio concuerdan con lo que reportan Rahetlah, Randrianaivoarivony,

Razafimpamoa y Ramalanjaona (2010), quienes no encontraron diferencia en el contenido de cenizas entre el monocultivo de *Avena sativa* y sus asociaciones con distintas proporciones de *V. sativa*.

Los resultados para los cambios de nitrógeno inorgánico (CNI) en el suelo se presentan en el Cuadro 10. Estos cambios son la resultante de ingresos y egresos en el pool de N_{in} del suelo (Améndola *et al.*, 2011). En el caso particular de este experimento los ingresos de mayor importancia fueron la fertilización nitrogenada en el caso del monocultivo de *A. strigosa* y la fijación simbiótica en las asociaciones; en tanto que los egresos fueron el N contenido en forraje cosechado y la lixiviación.

El cálculo del N cosechado, realizado con base en los Cuadros 2 y 6 permitió estimar que la cantidad cosechada con *A. strigosa* en fecha de siembra temprana (264 kg N ha⁻¹) fue similar a la cosechada en siembra tardía (248 kg N ha⁻¹) por lo que diferencia de 12.2 ppm N en CNI está necesariamente asociada a la mayor precipitación registrada durante el establecimiento del cultivo de las praderas en fecha de siembra temprana (Figura 1) que, de acuerdo a Álvarez-Sánchez, Améndola-Massiotti, Cristóbal-Acevedo y Soto-Barajas (2014), debió ocasionar mayor lixiviación de nitratos.

Cuadro 10. Cambio de nitrógeno inorgánico (CNI) en el suelo (ppm) de praderas de *Avena strigosa* y *Vicia* spp. con dos fechas de siembra.

Pradera	Fecha de siembra		P
	08/09/15	12/10/15	
<i>A. strigosa</i> (fertilizada con N)	-2.6 c	9.6 a	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i>	1.4 b	-2.5 c	<0.0001
<i>A. strigosa</i> + <i>V. villosa</i>	8.7 a	4 b	0.0015
<i>A. strigosa</i> + <i>V. sativa</i> + <i>V. villosa</i>	-2.3 c	4 b	0.0001

abc medias con una misma literal no son diferentes P<0.05; P: probabilidad de las diferencias entre medias de una misma pradera en diferentes fechas.

Unkovich, Baldock y Peoples (2010) encontraron para leguminosas anuales una relación lineal fuerte entre el rendimiento de MS y fijación de N₂. A su vez, es de esperar que si en lugar de MS cosechada, se emplee el dato de N cosechado esa relación sea más fuerte. Siguiendo esa línea de razonamiento sería

esperable que hubiese una relación en N cosechado y CNi; esa relación se presenta en la Figura 2, con base en la que es posible explicar de manera sencilla CNi para las diferentes praderas con base en el rendimiento de N cosechado.

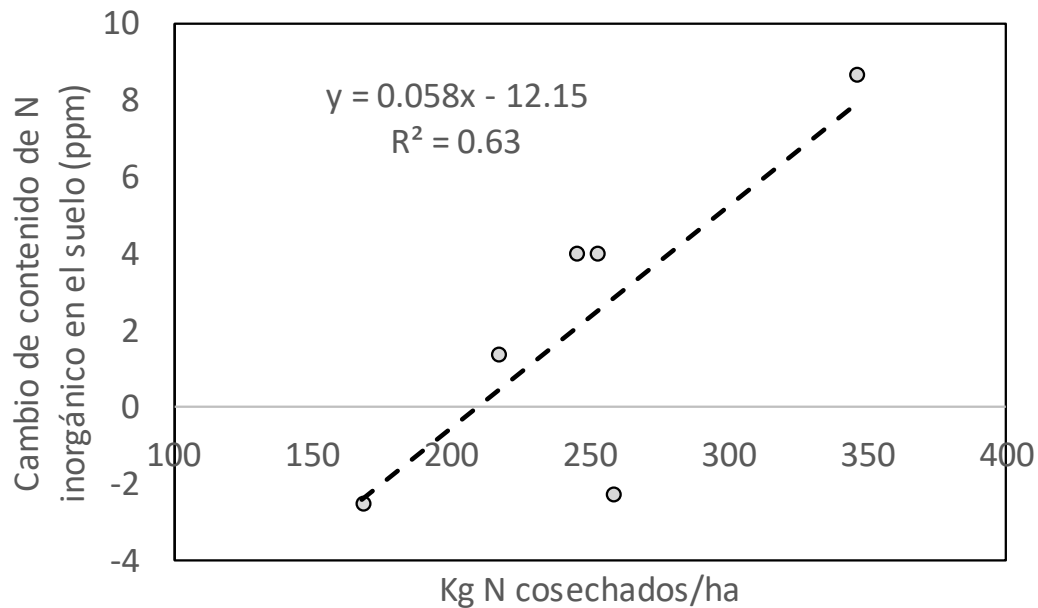


Figura 2. Relación entre la cantidad de N cosechada con el forraje y el cambio en el contenido de N inorgánico en el suelo, en asociaciones de *Avena strigosa* con *Vicia villosa* y *V. sativa*.

3.6 Conclusiones

El consumo aparente de forraje, de *Avena strigosa* y sus asociaciones con *Vicia sativa* y *V. villosa* fueron 19 % mayores en siembras a principios de septiembre que en siembras a principios de octubre. En esa fecha de siembra temprana el consumo aparente de forraje de la asociación de *A. strigosa* con *V. villosa* fue 26 % superior al promedio del monocultivo de *A. strigosa*, su asociación con *V. sativa* y la triple asociación, por lo que representa una estrategia para incrementar la producción de forraje para el periodo otoño e invierno.

Los indicadores de composición nutricional (proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido) del forraje de las asociaciones evaluadas y en particular de la asociación de *A. strigosa* con *V. villosa* presentaron promedios favorables.

Además del alto consumo aparente y buena composición nutricional, la asociación de *A. strigosa* con *V. villosa* en siembra temprana implicó, frente al monocultivo de la gramínea, la ventaja adicional del ahorro en el gasto de fertilizante nitrogenado y el aumento de la concentración de N inorgánico en el suelo.

3.7 Literatura citada

- Aguinaga, Q., A. A., P. C. de F. Carvalho, I. Anghinoni, A. Pilau, A. J. Q. Aguinaga & G. D. F. Gianluppi. (2008). Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37 (9), 1523-1530.
- Álvarez-Sánchez, E., R. Améndola-Massiotti, D. Cristóbal-Acevedo & M. C. Soto-Barajas. (2014). Pérdidas de nitrógeno por lixiviación en una pradera mixta pastoreada en clima templado. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37 (3), 271 – 278.
- Améndola-Massiotti, R., I. Cach-Gómez, E. Álvarez-Sánchez, I. López-Cruz, J. Burgueño-Ferreira, P. Martínez-Hernández & D. Cristóbal-Acevedo. (2011). Balance de nitrógeno en maíz forrajero con diferente fertilización y fase de rotación con praderas. *Agrociencia*, 45, 177-193.
- Améndola, R., E. Castillo & P. A. Martínez. (2005). Perfiles por país del recurso Pastura/Forraje México. FAO. Roma, Italia. 58 pp.
- ANKOM Technology. (2015). Manual de procedimientos de laboratorio. Disponible en: www.ankom.com/analytical-methods-support/fiber-analyzer-a2000. Consultado el 15 de marzo de 2016.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). Official Methods of Analysis. 15th Edition. USA. 728 p.
- Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists International. 18th Edition. Gathersburg, MD USA. 1,417 p.

- Bonnet, O., N. Hagenah, L. Hebbelmann, M. Meuret & A. M. Shrader. (2011). Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores? *Rangeland Ecology and Management*, 64, 366-374.
- Brenmer, J. M. (1965). Total Nitrogen. In: C. A. Black (Ed.) *Methods of Soil analysis. Part. 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy*. Madison, Wisconsin. pp: 1149-1178.
- Budakli C., E. & M. Melis T. (2012). Effects of mixture rates on forage yield and quality of mixtures of common vetch combined with oat, barley and wheat under a winter intercropping system of southern Marmara Region. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (2), 649-652.
- Coraglio, J. C., C. A. Vieyra & E. F. Nienstedt. (2001). Obtención del cultivar "Tolse F.C.A." de *Vicia dasycarpa* (Ten.) *Agriscientia*, XVIII, 59-62.
- Crews, T. E. & M. B. Peoples. (2004). Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102, 279–297
- García, E. (1987). Modificaciones al sistema climático de Koopen para la República Mexicana. UNAM. México, D.F.
- Guzatti, G. C., P. G. Duchini, A. F. Sbrissia & H. M. N. Ribeiro-Filho. (2015). Aspectos qualitativos e produção de biomassa em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou consorciados e submetidos a pastejo leniente. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 67(5), 1399-1407.
- Hoffman, C. P. (2005). Ash Content of Forages. *Focus on Forage*. University of Wisconsin 7 (1), 1-2.
- Interrante, M. S., J. T. Biermacher, M. K. Kering & T. J. Butler. (2012). Production and economics of steers grazing tall fescue with annual legumes or fertilized with nitrogen. *Crop Science*, 52, 1940–1948.
- Kunratha, T. R., M. Cadenazzi, D. M. Brambilla, I. Anghinonia, A. de Moraes, R. S. Barro & P. C. de F. Carvalho. (2014). Management targets for continuously stocked mixed oat × annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. *European Journal of Agronomy*, 57, 71–76.
- Larbi, A, A. M. Abd E., H. Nakkoula, B. Jammal & S. Hassana. (2011). Intra-species variations in yield and quality determinants in *Vicia* species: 4. Woolly-pod vetch (*Vicia villosa* ssp. *dasycarpa* Roth). *Animal Feed Science and Technology*, 164, 252–261.

- Moreno-Carrillo, M. A., A. Hernández-Garay, H. Vaquera-Huerta, C. Trejo-López, J. A. Escalante-Estrada, J. L. Zaragoza-Ramírez & B. M. Joaquín-Torres. (2015). Productividad de siete mezclas y dos praderas puras de gramíneas y leguminosas en condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38 (1), 101 – 108.
- Navarro G., H., M. A. Pérez O. & F. Castillo G. (2007). Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en Valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30 (2) ,151-157.
- Paris, W., R. Marchesan, U. Cecato, T. Newton M., M. F. Ziech & G. D. S. Borges. (2012). Dynamics of yield and nutritional value for winter forage intercropping. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 34 (2), 109-115.
- Pin, E. A., A. B. Soares, J. C. Possenti & J. M. Ferrazza. (2011). Forage production dynamics of winter annual grasses sown on different dates. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40 (3), 509-517.
- Pires, A. J. V., R. A. Reis, G. G. P. Carvalho, G. R. Siqueira, T. F. Bernardes, A. C. Ruggieri, E. O. Almeida & M. T. P. Roth. (2006). Degradabilidade ruminal da matéria seca, da fração fibrosa e da proteína bruta de forrageiras. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41 (4), 643-648.
- Rahetlah, V. B., J. M. Randrianaivoarivony, L. H. Razafimpamoa & V .L. Ramalanjaona. (2010). Effects of seeding rates on forage yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) vetch (*Vicia sativa* L.) mixtures under irrigated conditions of Madagascar. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Developmet*, 10 (10), 4254-4267.
- Rahmati, T., A. Azarfar, A. Mahdavi, K. Khademi, F. Fatahnia, H. Shaikhahmadi & B. Darabighane. (2012). Chemical composition and forage yield of three *Vicia* varieties (*Vicia* spp.) at full blooming stage. *Italian Journal of Animal Science*, 11 (e57), 309-311.
- Restelatto, R., P. S. Pavinato, L. R. Sartor & S. J. Paixao. (2013). Production and nutritional value of sorghum and black oat forages under nitrogen fertilization. *Grass and Forage Science*, 69, 693–704.
- Sánchez G., R. A., H. Gutiérrez B., A. Serna P., R. Gutiérrez L. & A. Espinoza C. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5 (2), 131-142.
- Sanderson, M. A., K. J. Soder, L. D. Muller, K. D. Klement, R. H. Skinner & S.C. Goslee. (2005). Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. *Agronomy Journal*, 97,1465-1471.

- SEMARNAP. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial, martes 31 de diciembre de 2002. Segunda Sección. México D.F. 85 p.
- Statistical Analysis System (SAS). (2004). SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Publishing. Cary, North Carolina, USA. 5180 p.
- Terrill, T. H., W. F. Whitehead, G. Durham, C. S. Hoveland, B. P. Singh & S. Gelaye. (2004). Preference of grazing goats for cool-season annual clovers. *South African Journal of Animal Science*, 34 (1), 92-94.
- Turk, M., S. Albayrak & O. Yüksel. (2009). Effects of fertilisation and harvesting stages on forage yield and quality of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52 (3), 269-275.
- Unkovich, M, J. Baldock & M. Peoples. (2010). Prospects and problems of simple linear models for estimating symbiotic N₂ fixation by crop and pasture legumes. *Plant & Soil*, 329, 75-89.
- UPNA. Universidad Pública de Navarra. (2009). Flora pratense y forrajera cultivada de la Península Ibérica. Familia Leguminosae, *Vicia villosa* Roth. Herbario, UPNA. Disponible en: http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Vici_vill_p.htm. Consultado en agosto de 2016.
- Wilson G., C. Y. (2015). Rendimiento y calidad de forraje de cereales de grano pequeño. Tesis de Doctorado en Ciencias. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 79 pp.
- Yolcu, H. (2011). The effects of some organic and chemical fertilizer applications on yield, morphology, quality and mineral content of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 16 (2), 197-202