

## Rendimiento de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años de evaluación

Marco Antonio Rivas Jacobo<sup>1</sup>  
José Guadalupe Herrera Haro<sup>2</sup>  
Alfonso Hernández-Garay<sup>2†</sup>  
Humberto Vaquera Huerta<sup>2</sup>  
José Isidro Alejos De La Fuente<sup>3</sup>  
Said Cadena-Villegas<sup>4§</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía y Veterinaria-UASLP. Carretera San Luis-Matehuala km 14.5, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí. CP. 78321. (marco.rivas@uaslp.mx). <sup>2</sup>Colegio de Posgraduados-Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México. (sergiomp@colpos.mx; hvaquera@colpos.mx). <sup>3</sup>Departamento de Zootecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (jalejosd@chapingo.mx). <sup>4</sup>Colegio de Posgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 3.5, H. Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500.

§Autor para correspondencia: cadena.villegas@hotmail.com.

### Resumen

Con el objetivo de caracterizar el rendimiento de cinco variedades de alfalfa en Montecillos, Texcoco, estado de México. Se establecieron en el año 2004 praderas con las variedades Cuf-101, Moapa, Oaxaca y Valenciana, en las que se determinó durante cuatro años el rendimiento de materia seca anual (RMSA), rendimiento estacional (RMSE), tasa de acumulación de forraje (TAF) y relación hoja: tallo. Los datos se analizaron por el procedimiento GLM de SAS y comparación de medias por la prueba de Tukey. Se analizaron los cambios por estación, variedad y años y sus interacciones. Se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) en rendimiento RMSA, MSE, TAF y relación hoja: tallo entre variedades, estaciones y años. Durante el primer año se observó mayor RMSA, y disminuyó hasta 57% al final del periodo de evaluación. La variedad Oaxaca mantuvo mayor producción al final de la evaluación y Moapa la de menor. En el RMSE se observó que en verano tuvo el mayor rendimiento y en invierno disminuye cerca de 50%, tendencia que se mantuvo durante el periodo de evaluación, esta diferencia va disminuyendo con el paso de los años, con una acumulación de MS más constante en el año. La relación hoja: tallo es mayor en el segundo año donde las variedades Cuf-101 y Valenciana registraron la mayor relación en la estación de invierno. En conclusión, el genotipo de la variedad de alfalfa influye en el rendimiento de materia seca por estación, año y periodo de producción, donde la estación de mayor producción de MS es verano.

**Palabras clave:** alfalfa, acumulación de forraje, producción de biomasa, rendimiento estacional.

Recibido: febrero de 2020

Aceptado: mayo de 2020

## Introducción

El cultivo de alfalfa ha desempeñado un papel importante en la producción animal desde hace muchos años; sin embargo, su uso en los sistemas de producción ha sufrido cambios debido a las variaciones climáticas, que han hecho necesario examinar las limitaciones en los sistemas tradicionales actuales y el potencial de la alfalfa como fuente de alimento para los rumiantes (Bouton, 2012).

En este sentido, el rendimiento, calidad y persistencia de las praderas de alfalfa está fuertemente influenciada por la frecuencia de defoliación, la cual es una relación crítica y determinante en el manejo de la pradera (Chen *et al.*, 2012) ya que debe compensar el rendimiento de biomasa, calidad del forraje producido y la persistencia de la pradera, que en conjunto permitiría cosechar la mayor cantidad de forraje, con el mayor valor nutritivo y mantener la pradera en buenas condiciones por mas años (Teixeira *et al.*, 2008).

Condiciones que se encuentran vinculadas con los escenarios climáticos, capacidad de rebrote de la variedad utilizada en la pradera y los requerimientos nutricionales de la especie animal que se alimentará con el forraje (Chen *et al.*, 2012). Como todas las especies forrajeras, el rendimiento de materia seca de la alfalfa varía; a través, del tiempo el manejo de la defoliación debe definirse de manera estacional con base en la velocidad de crecimiento (Hernández-Garay *et al.*, 1992; Richards, 1993), la cual representa el balance entre la tasa de crecimiento y la pérdida de tejido por senescencia y descomposición.

Que cambia con las condiciones ambientales propias de cada estación del año (Lemaire *et al.*, 2009; Valentine *et al.*, 1999) por ello, el conocimiento de los cambios estacionales en la velocidad de crecimiento de las diferentes especies forrajeras (Hodgson, 1990) permite determinar la frecuencia e intensidad de cosecha óptima de la alfalfa y así obtener el mayor rendimiento de materia seca, de alta calidad, sin afectar su persistencia (Hodgson, 1990; Valentine *et al.*, 1999).

Al respecto Harvey *et al.* (2014) mencionaron que, en las evaluaciones llevadas a cabo en Nueva Zelanda, los cultivares de alfalfa evaluados se ha clasificado con base en su actividad invernal, un rasgo de la variedad que determina la altura de la planta sobre el suelo durante el otoño e invierno, esto se conoce como latencia en otoño (FD). La clase FD se asigna según las mediciones de la altura de la planta en otoño, después de permitir el rebrote posterior a una defoliación uniforme.

Esta cualidad de rendimiento de forraje en la alfalfa es importante debido a la marcada disminución en la tasa de crecimiento de la especie, lo que genera mayor periodo de reposo para evitar la pérdida de plantas y deterioro de la pradera (Mendoza *et al.*, 2010). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar el crecimiento y rendimiento de materia seca de 5 variedades de alfalfa durante 4 años de evaluación la pradera, así como determinar las variaciones estacionales del rendimiento de forraje.

## Materiales y métodos

### Localización y características del área de estudio

El estudio se realizó en Montecillo, Texcoco, Estado de México, localizado a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a 2 250 msnm. Con un clima templado subhúmedo y una precipitación anual de 645 mm. El tipo de suelo es arcilloso con un pH de 8.08, conductividad eléctrica de 0.61 dS m<sup>-1</sup>, con 3.28% de materia orgánica, N total con 0.21%, fósforo con 20.8 mg kg<sup>-1</sup>, potasio con 0.39 meq L<sup>-1</sup>, Calcio 2.52 meq L<sup>-1</sup> y magnesio 1.35 meq L<sup>-1</sup>.

Los tratamientos utilizados fueron cinco variedades comerciales de alfalfa (San Miguel, Oaxaca, Moapa, Valenciana y Cuf-101). La cuales se cosecharon cada cuatro semanas en las estaciones de primavera y verano, cada cinco semanas en otoño y cada seis semanas en invierno. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas en espacio y tiempo, la unidad experimental consistió en una parcela de 3 x 3 m.

La preparación del suelo se realizó un mes antes de la siembra, con un barbecho con arado de discos para voltear el suelo, incorporar material existente, eliminar algunas plagas y malezas y aflojar la capa arable. Posteriormente dos días antes de la siembra se aplicaron dos pasos de la rastra de discos para disminuir los terrones existentes y contar con una buena cama de siembra por el tipo de semilla pequeña del cultivo a establecer.

La siembra de las variedades de alfalfa se efectuó el 16 de marzo de 2004, a una densidad de siembra de 30 kg ha<sup>-1</sup>, para ello se depositó la semilla al voleo sobre la superficie del suelo, previamente fertilizado con la dosis 60-140-00 (N-P-K) y se cubrió con un rastrillo, la densidad de siembra se ajustó, con el peso de la semilla y el porcentaje de germinación estimados previamente a la siembra, de tal forma que todas las variedades tuvieron aproximadamente el mismo número de semillas sembradas por m<sup>2</sup>.

Se realizó una segunda fertilización a los 14 meses después de la siembra (20 de mayo), con una dosis de 40-00-00 (N-P-K). Los fertilizantes comerciales utilizados para cubrir las dosis requeridas fueron urea (46%N) y superfosfato triple (46%P). A los 90 días después de la siembra (DDS) se dio un corte de uniformización con guadaña a una altura de 5 cm sobre la superficie de suelo para eliminar malezas. Los cortes iniciaron 120 DDS y así posteriormente cada cuatro semanas en las estaciones de primavera y verano, cada cinco semanas en otoño y cada seis semanas en invierno.

El primer riego con aspersión se aplicó al día siguiente de la siembra, posteriormente el segundo riego se dio 7 DDS para favorecer la emergencia de las plántulas, los riegos subsecuentes antes de establecerse el temporal se aplicaron cada siete días hasta junio y una vez pasado el temporal, en octubre los riegos se aplicaron cada 15 días y así sucesivamente todos los años de evaluación.

## **Variables evaluadas**

### **Rendimiento de materia seca anual (RMSA, t ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>)**

Los cortes se realizaron de acuerdo con la estación del año en un cuadro fijo de 0.25 m<sup>2</sup>. El forraje cosechado se limpió de impurezas, malezas y tierra, se pesó en verde y se registró el dato; inmediatamente después se tomó una submuestra de 150 g, la cual se separó en hojas, tallos y material muerto o senescente.

Estos componentes del forraje se colocaron en una bolsa de papel, en forma separada y se llevaron a una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 72 h hasta peso constante y se determinó el porcentaje de materia seca para posteriormente aplicarlo a la muestra total y se determinó la materia seca obtenida en el cuadrante y con ello convertir los datos a toneladas por hectárea. De esta forma se obtuvieron cuatro valores: rendimiento de materia seca de hoja, tallo, material muerto o senescente y la suma de los tres se obtuvo el RMS total. Los rendimientos de materia seca y de sus componentes morfológicos fueron mensual y por estación del año.

### **Rendimiento de materia seca por estación (RMSE, t ha<sup>-1</sup> estación<sup>-1</sup>)**

Se realizó la determinación de rendimiento de materia seca por cada cosecha, las cuales se sumaron aquellas correspondientes a cada estación del año.

### **Tasa de acumulación de forraje (kg ha<sup>-1</sup>)**

Se determinó por medio de la estimación del rendimiento de materia seca dividido entre el número de días del intervalo entre corte.

### **Relación hoja:tallo (H:T)**

Se obtuvo dividiendo el peso de las hojas entre el peso de los tallos.

### **Análisis estadístico**

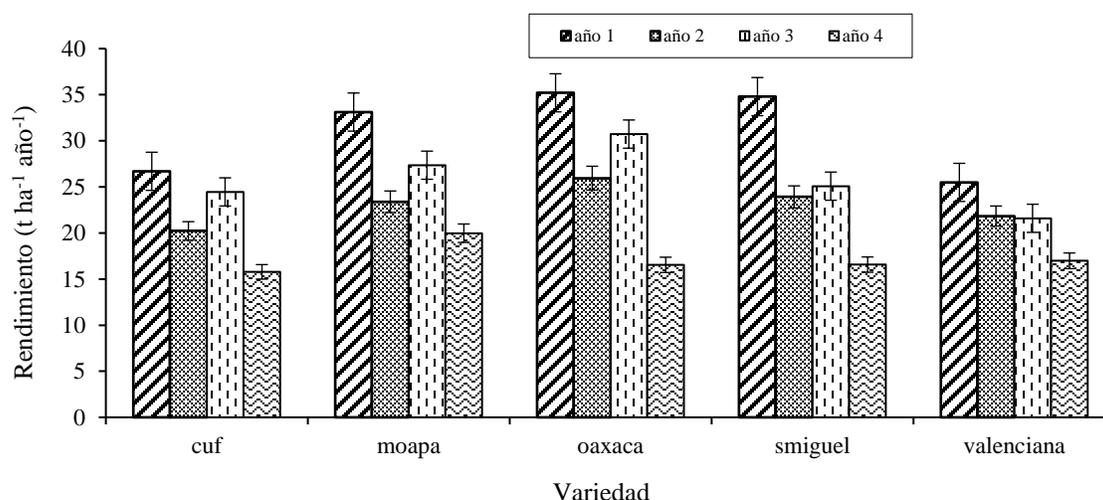
Las variables estudiadas se evaluaron mediante análisis de varianza con el programa estadístico Statistical Analysis System, Institute Inc. 1990 (SAS) por el procedimiento GLM (SAS, 9.4; SAS Institute Inc., 2012) y las comparaciones de medias se llevó a cabo mediante pruebas de Tukey.

## **Resultados y discusión**

El rendimiento de materia seca anual mostro diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies y entre años, donde las variedades Oaxaca y San Miguel fueron las de mayor rendimiento anual (Figura 1). Los resultados de rendimiento de materia seca anual muestran que los mayores valores de biomasa se registraron en el primer año de establecida la pradera, para el segundo año, se observó una disminución en el rendimiento de materia seca de forraje que se recuperó en el tercer año, a excepción de la variedad Valenciana, la cual mostró valores de materia seca similares entre el segundo y tercer año.

El RMS de las praderas va decayendo con el paso de los años, hasta llegar a un rendimiento en promedio de 43%, con respecto a la del primer año. Este rubro tiene importantes diferencias, ya que la variedad Moapa es la que registro el menor rendimiento al final de la evaluación (43% con respecto a su producción del primer año) y la variedad Oaxaca la que mantuvo el mayor RMS después de 4 años de evaluación (53% respecto al primer año).

De acuerdo con el rendimiento de materia seca total de los cuatro años de evaluación, se pueden ordenar las variedades en forma descendente, Oaxaca, Moapa, San Miguel, Cuf-101 y Valenciana con 108.4, 103.8, 100.4, 87.2 y 85.9 T MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 1. Rendimiento anual de 5 variedades de alfalfa en un periodo de 4 años en Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Los resultados obtenidos de rendimiento de materia seca anual de forraje son similares a los reportados por Mendoza *et al.* (2010), Quienes al evaluar la respuesta de una pradera de alfalfa con la variedad San Miguel con diferentes frecuencias de corte, obtuvieron que con los mayores intervalos entre corte (6 semanas en primavera y verano y 7 semanas en otoño invierno) un rendimiento de 34.54 T MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, similares a los reportados en el primer año de cosecha en el presente estudio.

Sin embargo, son superiores a los reportados por Rojas *et al.* (2019) quienes al evaluar cinco variedades de alfalfa observaron rendimientos de materia seca anuales de entre 14.488 y 20.643 T MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; al respecto, Álvarez *et al.* (2018) reportaron rendimientos de materia seca anuales en 10 variedades de alfalfa entre 7.890 y 14.510 T MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. A su vez, Morales *et al.* (2006) al evaluar el rendimiento de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en el la Mixteca de Oaxaca mostraron rendimientos de materia seca de entre 46.99 y 52.95 T MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, resultados mayores a los registrados en presente estudio.

El rendimiento de materia seca por estación mostro diferencias ( $p < 0.05$ ) entre estaciones, de manera general, al hacer la comparación en el RMS promedio por estación se muestra que los mayores rendimientos fueron en verano, donde se produjo 34.1% del en el periodo de evaluación (Cuadro 1). En general, las variedades evaluadas muestran una disminución en la producción de

forraje en invierno, donde se registra 17.6% de la producción del año; es decir, cerca del 50% de la producción registrada en verano y 72% de lo que se produce en las estaciones de verano y otoño, esto indica que, para llevar a cabo una adecuada planeación en el recurso forrajero de las praderas de alfalfa, es necesario considerar esta disminución en el rendimiento de materia seca.

**Cuadro 1. Rendimiento promedio de materia seca por estación (t ha<sup>-1</sup>) de 5 variedades de alfalfa en un periodo de 4 años en Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	EEM
Cuf-101	5.303 Bc	8.289 Ab	5.871 Bb	3.652 Cc	0.75
Moapa	6.013 Bb	9.668 Aa	6.626 Ba	5.157 Ca	0.92
Oaxaca	7.545 Ba	9.496 Aa	5.978 Ca	5.444 Ca	0.87
San Miguel	6.332 Bb	9.767 Aa	6.883 Ba	4.896 Cb	0.79
Valenciana	6.032 Bb	7.123 Ac	6.139 Ba	3.689 Cc	0.65
Promedio	6.245	8.869	6.299	4.586	
EEM	0.96	0.56	0.81	0.74	

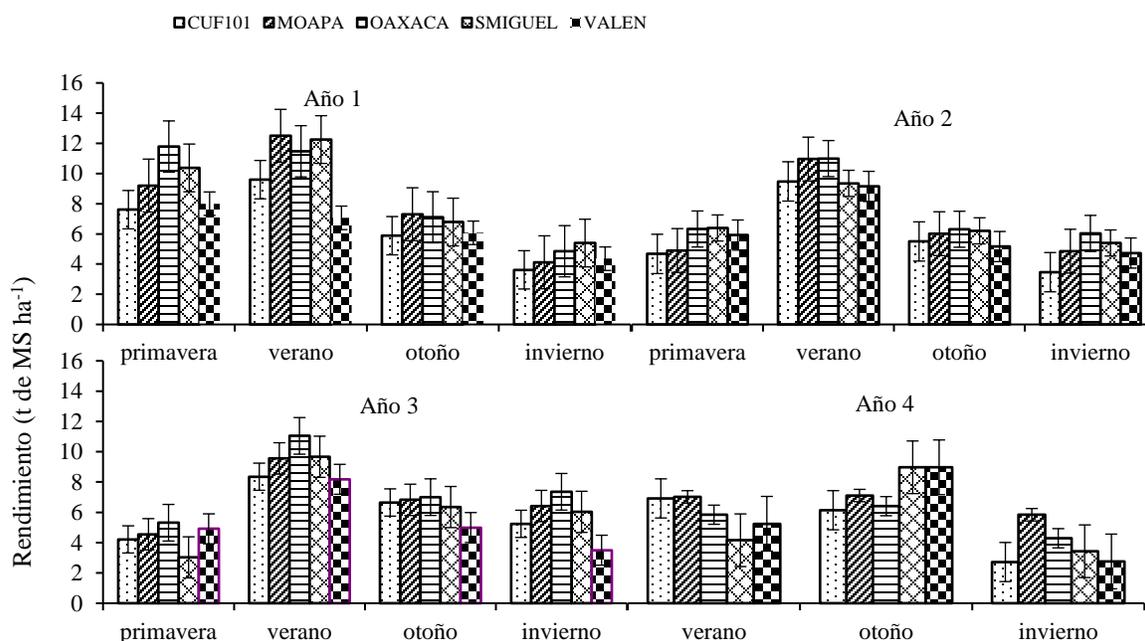
A, B, C= valores promedio en la misma fila con diferente literal, son diferentes ( $p < 0.05$ ); a, b, c= valores promedio en la misma columna con diferente literal son diferentes ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Álvarez *et al.* (2018) quienes, al evaluar el rendimiento de materia seca de forraje de diez variedades de alfalfa durante cuatro años, observaron que los mayores rendimientos de forraje están en la estación de verano, seguidos de primavera, otoño e invierno en ese orden descendente.

De igual manera, Rojas *et al.* (2018) al evaluar el rendimiento estacional de cinco variedades de alfalfa reportaron mayor producción de forraje en verano y la menor en diciembre, una tendencia igual a la observada en el presente estudio. Los resultados de rendimiento de materia seca por estación en cada año se muestran en la Figura 2, donde se observa que existe un comportamiento similar en el rendimiento de materia seca en cada estación del año en los cuatro años de estudio.

Al hacer un análisis por estación y época del año, se muestra que en el primer año se tienen las mayores diferencias en el rendimiento de materia seca estacional, conforme pasan los años, los rendimientos de materia seca son más constantes, debido a la disminución en la producción en la estación de verano. La variedad Oaxaca es la que mantuvo menos cambios en el rendimiento de forraje a través de los años; sin embargo, al final del periodo de evaluación (cuarto año) el rendimiento cae hasta 50% de lo que generaba en el periodo de verano en años anteriores.

El rendimiento de materia seca por estación, en condiciones de riego, está relacionada con las variaciones en la temperatura ambiental, la cual afecta de manera crítica los cultivos debido a los cambios que genera en diferentes procesos del desarrollo de la planta, estos efectos están relacionados al parecer, con los diferentes genotipos de una especie, los cuales se han adaptado a las condiciones de temperatura de un área específica (Serge *et al.*, 2017), al respecto Dhot *et al.* (2013) mencionaron que los bajos rendimientos y cosecha de forraje en las épocas de menor crecimiento, tiene un efecto negativo en la sobrevivencia de las plantas y para el caso de la alfalfa, se ha atribuido a la baja acumulación de reservas de carbohidratos en las raíces y que al haber un periodo que permita una buena acumulación de reservas en las raíces, genera un rendimiento adecuado en los periodos de primavera y verano.



**Figura 2. Rendimiento de materia seca por estación por año de cinco variedades de alfalfa en Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

En este sentido, Teixeira *et al.* (2007) mencionaron que al evaluar la acumulación de reservas de C y N en praderas de alfalfa con diferentes regímenes de cosecha, observaron que la acumulación de estos elementos en las raíces siguen patrones estacionales de acumulación y agotamiento en el cultivo, independientemente del régimen de cosecha, y acentúan la importancia de un largo intervalo entre defoliaciones a mediados de verano y otoño, como una de las mejores estrategias para la reposición reservas, que impacta en el potencial de crecimiento durante el siguiente crecimiento de principios de primavera y con ello, la persistencia de la pradera.

La tasa de acumulación de forraje mostró diferencias ( $p < 0.05$ ) entre estaciones y años, donde la variedad que tuvo el mejor promedio fue Oaxaca con 19% más que la variedad Cuf-101 quien tuvo el menor promedio a lo largo del estudio y cerca de 10% más que las otras variedades (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Tasa de acumulación de forraje estacional ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de cinco variedades de alfalfa en un periodo de cuatro años en Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

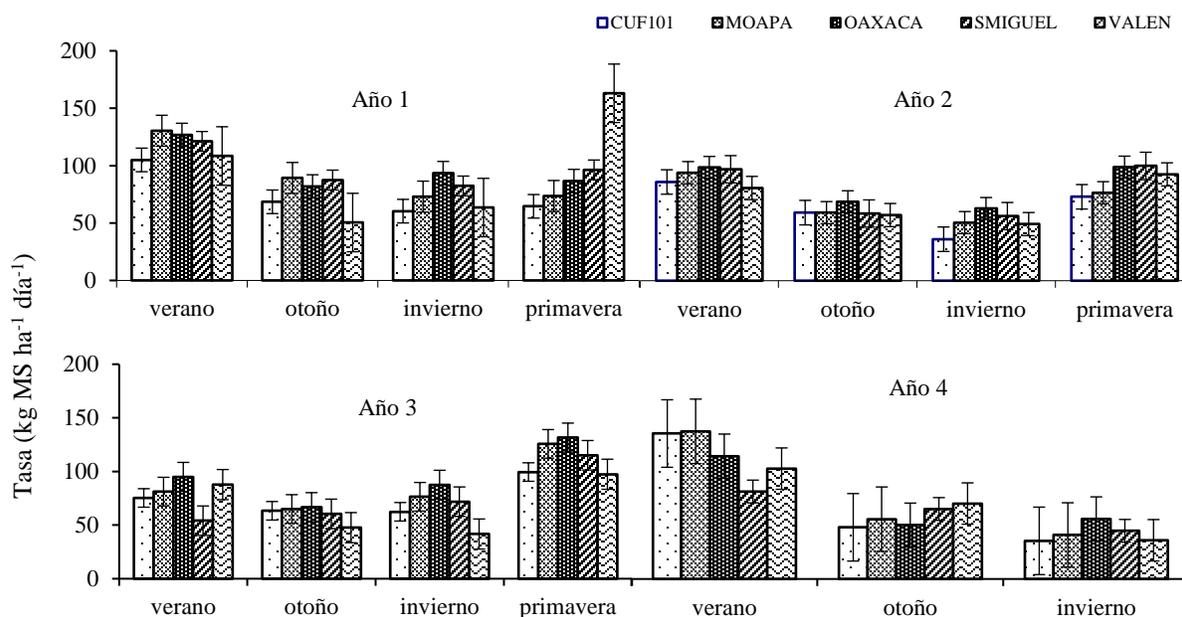
Variedad	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	EEM
Cuf	97.44 Ab	58.74Bb	47.8Cc	59.26Bd	3.25
Moapa	107.76Aa	66.07Ba	59.35C	68.96Bc	4.73
Oaxaca	106.16Aa	65.78Da	73.76Ca	79.25Bb	3.14
San Miguel	86.62Ad	66.45Ca	62.82Cb	77.82Bb	2.99
Valenciana	92.64Ac	54.82Bb	46.82Cc	88.23Aa	5.9
Promedio	98.12	62.37	58.11	74.71	
EEM	1.89	2.07	2.17	1.90	

A, B, C = valores promedio en la misma fila con diferente literal, son diferentes ( $p < 0.05$ ); a, b, c = valores promedio en la misma columna con diferente literal son diferentes ( $p < 0.05$ ).

Existen diferencias la tasa de acumulación de forraje en función de la estación del año, así se muestra que el orden descendente es verano, primavera, otoño e invierno con 98.12, 74.71, 62.37 y 58.11 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; respectivamente, tendencia que está relacionada con el rendimiento estacional de forraje, debido a que la acumulación por día, al final del periodo de cosecha, formará parte del rendimiento de cada variedad. El comportamiento de la tasa de acumulación en el periodo de evaluación con base en las diferentes estaciones del año se muestra en la Figura 3. Se observaron diferencias significativas entre años, variedades y estaciones, así como sus interacciones.

Se observó que en el primer año se tuvo la mayor tasa de acumulación de forraje, principalmente en la estación de verano; sin embargo, en el primer año, en la estación de primavera, la variedad Valenciana tuvo su máxima tasa de acumulación, superior a todos los demás años. Para el segundo año, la tasa de acumulación se redujo en todas las variedades cerca de 20% de los valores registrados en el primer año y para el tercer año, la tasa de acumulación tuvo un incremento de 10.3% con respecto al año dos.

Las tendencias en la tasa de acumulación son similares entre las variedades; sin embargo, existen diferencias en el comportamiento entre variedades en el mismo año, en las diferentes estaciones y entre estaciones en los diferentes años así, se muestra que en el primer año en la estación de primavera la variedad Valenciana tuvo mayor rendimiento con respecto a las otras variedades.



**Figura 3. Tasa de acumulación de forraje de 5 variedades de alfalfa durante cuatro años en Montecillos, Texcoco, Estado de México.**

Los valores observados de la tasa de acumulación de forraje (TAF) son superiores a los reportados por Rojas *et al.* (2005) quienes al evaluar 5 variedades de alfalfa reportaron valores promedio de 70, 46, 25, 50 kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, para verano, otoño, invierno y primavera respectivamente, de igual manera, difieren de lo observado en el presente estudio en cuanto a la tendencia estacional, ya que los resultados del presente estudio indican una mayor TAF en primavera.

Al respecto Montes *et al.* (2014) al evaluar la acumulación de forraje en Oaxaca de un genotipo Criollo, reportaron que existen variaciones en esta variable en las diferentes épocas del año, mencionaron que en primavera obtuvieron los máximos valores en un rango 23 y 57 kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y entre 24 y 52 MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en invierno, donde se registró la menor TAF, esto en función del periodo de reposo, una tendencia estacional similar a la observada en el presente estudio. De igual manera Hernández-Garay *et al.* (2012) al evaluar la TAF en diferentes presiones de pastoreo observaron una tendencia estacional similar a la observada en el presente estudio y TAF similares con rangos que van de 55-95, 75-79, 44-52 y 107-81 ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente.

La adaptación de diferentes variedades de alfalfa a diversas condiciones climáticas, han propiciado que existan distintos modelos de crecimiento y acumulación de forraje, en el periodo invernal, la alfalfa tiene un crecimiento activo a diferentes tasas de crecimiento, con una influencia de las bajas temperaturas al respecto; es importante, determinar los factores que afecta el crecimiento de la alfalfa para establecer modelos de producción.

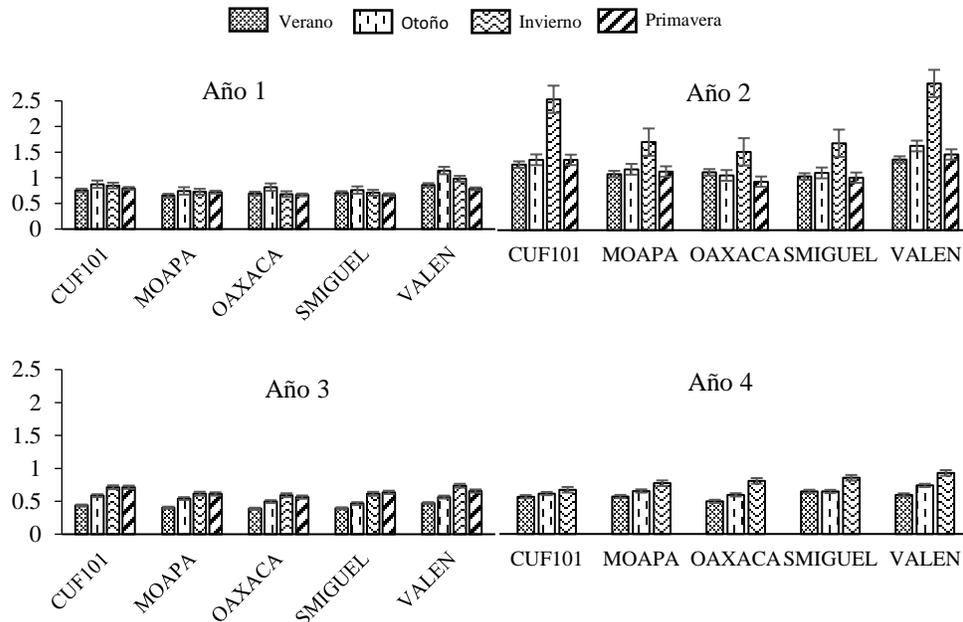
Además de la necesidad de determinar las variedades de alfalfa que muestren mayor grado de latencia invernal en las diferentes áreas de producción en el país, debido a que la respuesta de la alfalfa a las diferentes variables climatológicas no es constante a lo largo de las estaciones del año; por lo tanto, para desarrollar modelos de predicción no puede haber un modelo único para todo el año, sino que deberá ser de acuerdo a la época o estación del año.

En diferentes estudios se ha demostrado los cambios en crecimiento en las estaciones del año, lo que genera fluctuaciones en el fotoperiodo, que, en combinación con los cambios en las temperaturas y tasa de evapotranspiración, afecta a la tasa de crecimiento, por lo tanto, es necesario modificar los periodos entre cortes para asegurar la formación de reservas radiculares

La relación hoja: tallo mostro diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variedades, estaciones y años (Figura 4). Se observa que el mayor valor está en el segundo año, donde las variedades Cuf y Valenciana registraron hasta 2; es decir, el doble de hoja con respecto al tallo; sin embargo, las otras variedades en este año tuvieron una relación cercana a uno. Para el tercer año, esta relación fue de 0.5, en la estación de verano y las mayores proporciones de hoja en las estaciones de invierno y primavera, tendencia muy similar en el cuarto año, donde la relación de hoja: tallo no tuvo variación.

La relación hoja: tallo, observada en el presente estudio es similar a lo reportado por Montes *et al.* (2016), quienes al evaluar el rendimiento de alfalfa variedad Oaxaca criolla, observaron una relación hoja: tallo que va desde 0.7 a 1.7 en el periodo de estudio con mayores valores en las estaciones de primavera y verano, tendencia que difiere de lo observado en el presente estudio; de igual manera, al evaluar el rendimiento de cinco variedades de alfalfa determinaron la relación hoja: tallo y reportaron que las variedades Moapa, Valencia y Cuf tuvieron los mayores valores de esta relación (0.72, 0.79 y 0.8, respectivamente).

Sin embargo, obtuvieron valores menores de los observados en el segundo año de este estudio, pero muy similares a los del tercer y cuarto año. Al respecto, Morales *et al.* (2006) al evaluar 14 variedades de alfalfa reportaron valores similares a los reportados los años tres y cuatro del presente estudio que van desde 0.619 en la variedad Bajío 76 hasta 0.8 en la variedad Moapa, lo cual es similar a lo observado en el presente estudio.



**Figura 4. Relación hoja: tallo de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años en Montecillos, Texcoco, Estado de México**

En la producción de forrajes, el interés se centra en la acumulación de la materia seca de las hojas, pues es la parte de la planta que aporta el mayor contenido de nutrientes (Atencio *et al.*, 2014); de tal manera, que el crecimiento de los cultivos se ve afectado en el periodo invernal, el área foliar es un factor determinante del rendimiento final y se afecta por las pérdidas que ocurren durante crecimiento vegetativo.

El cambio aparente en la proporción de hojas al final podría ser el resultado de la modificación en el desarrollo del tallo, lo que permite mayor generación de hojas, o de una determinación inexacta de la temperatura base (Gabrielle *et al.*, 1998). Al respecto, Gastal *et al.* (1992) determinaron que la aparición y desarrollo de hojas en las plantas, en la mayor parte del crecimiento de los cultivos, la tasa de expansión del área foliar es impulsada por la asimilación de carbono y la división entre los órganos de las plantas.

Los modelos de partición asimilada siguen siendo empíricos y difíciles de validar. El enfoque sugerido está relacionado con la temperatura y el N, mientras que no se considera la asimilación de carbono. La independencia relativa entre la tasa de expansión foliar y la asimilación de carbono en el nivel del dosel se explica por las diversas compensaciones que tienen lugar entre el crecimiento, en términos de acumulación, asimilación y crecimiento en función del tamaño de la planta.

Al respecto, Simon y Lemaire (1987) mencionaron que el índice de área foliar es determinante para el desarrollo de tallos, en caso de que el área foliar sea muy baja, la temperatura y disponibilidad de nitrógeno para la planta se convierte en un factor crítico para el desarrollo de los tallos y posiblemente para la persistencia de la planta, de igual manera, se requiere más información relacionada con arquitectura del dosel y condiciones de luz que expliquen mejor la importancia del desarrollo foliar en el crecimiento de la planta.

## Conclusiones

La producción y rendimiento de materia seca en el cultivo de alfalfa es mayor durante el primer año; en el cuarto año de producción decaen hasta en 50%, de igual manera, la relación hoja: tallo se vio afectada por la variedad, estación del año y año de producción. El genotipo y la estación del año influye en el rendimiento de materia seca, siendo verano la estación que muestra las mejores condiciones para una mayor tasa de acumulación de forraje y rendimiento de materia seca; mientras que invierno muestra todo lo contrario.

## Literatura citada

- Álvarez V. P.; Hernández-Garay A.; Mendoza-Pedroza S. I.; Rojas-García A. R.; Wilson-García C. Y. y Alejos-de la Fuente J. I. 2018. Producción de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) a cuatro años de establecidas. *Agrociencia*. 52(6):841-851.
- Atencio L. M.; Tapia J. J.; Mejía S. L. y Cadena J. 2014. Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla. *Temas agrarios* 19(2):245-259.
- Bouton, H. J. 2012. An overview of the role of lucerne (*Medicago sativa* L.) in pastoral agriculture. *Crop & Pasture Science*. 63(9):734-738.
- Chen, J.; Fen-lan Tang; Rui-fen, Z.; Chao, G.; Gui-li Di. and Yue-xue, Z. 2012. Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *Afr. J. Biotechnol.* 11(21):4782-4790.
- Dhont, C.; Castonguay, Y.; Nadeau, P.; Bélanger, G. and Francois, P. C. 2013. *Crop Sci.* 43(1):181-194.
- Gabrielle, B.; Denoroy, P.; Gosse, G.; Justes, E. and Andersen, M. N. 1998. A model of leaf area development and senescence for winter oilseed rape. *Field Crops Res.* 57(2):209-222.
- Gastal, F.; Belanger, G. and Lemaire, G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals Bot.* 70(5):437-342.
- Harvey, B. M.; Widdup, K. H. and Barrett, B. A. 2014. An evaluation of Lucerne for persistence under grazing in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 76:111-116.
- Hernández-Garay, A.; Pérez, P. J. y Hernández, G. V. A. 2012. Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*. 2(3):131-144.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing management. Science into practice.* Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
- Lemaire, G.; Silva, S. C.; Agnusdei, M.; Wade, M. and Hodgson, J. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science*. 64:341-353.
- Mendoza, P. S. I.; Hernández, A.; Pérez J.; Quero, C. A. R.; Escalante, J. A. S.; Zaragoza J. L. y Ramíre, O. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 1(3):287-296.
- Montes, C. F. C.; Castro, R.; Aguilar, G.; Sandoval, S. y Solís, M. M. 2014. Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 7(4):539-552.

- Morales A. J.; Jiménez, J. L.; Velasco, V. A.; Villegas, Y.; Enríquez del Valle, J. R. y Hernández, A. 2006. Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca. *Téc. Pec. Méx.* 44(3):277-288.
- Richards, J. H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. Proc. *In: XVII International Grassland Congress.* Palmerston North, New Zealand. 95-104 pp.
- Rojas, G. A. R.; Torres, N.; Maldonado, M. A.; Herrera, J.; Sánchez, P.; Cruz, A.; Mendoza, F. J. M. y. Hernández, A. 2005. Rendimiento de forraje y sus componentes en variedades de alfalfa en el altiplano de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 10(1):239-253.
- Rojas, G. A. R.; Hernández-Garay, A.; Joaquín, S.; Maldonado, M. A.; Mendoza, S. I.; Álvarez, P. y Joaquín, B. M. 2018. Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(8):1855-1866.
- SAS Institute Inc. 2012. SAS user's Guide Statistics, version 9.4 (TS1MO). Cary, NC. USA.
- Serge, Z. L. Q.; Ahmed, A. J.; Escobar-Gutiérrez, F. G.; Bernadette, J. and Gaëtan, L. 2017. How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species? *Agric. Forest Meteorol.* 232:433-442.
- Simon, J. C. and Lemaire, G. 1987. Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. *Grass Forage Sci.* 42(4):373-380.
- Teixeira, E. I.; Moot, D. J. and Mickelbart, M. V. 2007. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime *Eur. J. Agron.* 26(1):10-20.
- Teixeira, E. I.; Moot, D. J. and Brown, H. E. 2008. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *Eur. J. Agron.* 28(2):103-111.
- Valentine, I. and Matthew, C. 1999. Plant growth, development and yield. *In: White, J. and Hodgson, J. (Ed.). New Zealand Pasture and Crop Sci.* Auckland, New Zealand. Oxford University Press. 336 p.