



Índice de área foliar e indicadores de productividad forrajera de *Lotus corniculatus* L. en diferentes contenidos de humedad del suelo y estaciones del año



Aurelio Pedroza Sandoval ^a

Sahara Xolocotzi Acotzi ^{a*}

Ricardo Trejo Calzada ^a

Gabino García de los Santos ^b

Perpetuo Álvarez Vázquez ^c

Jesús Guadalupe Arreola Ávila ^a

^a Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, km 40. 35230, Bermejillo, Durango, México.

^b Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Estado de México, México.

^c Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.

*Autor para correspondencia: xolocotzi18@gmail.com

Resumen:

El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta del índice de área foliar y productividad forrajera de genotipos del trébol *Lotus corniculatus* bajo dos contenidos de humedad del suelo en condiciones de malla-sombra. Se usó un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron los contenidos de humedad en el suelo: óptimo (COHS: 26 % \pm 1.5) y subóptimo (CSHS: 22 % \pm 1.5); y las parcelas chicas las accesiones de *L. corniculatus*: 255301, 255305, 202700, 226792 y la variedad Estanzuela Ganador. Las variables medidas fueron el índice de área foliar (IAF), producción de biomasa en materia seca (MS) (g planta⁻¹), tasa de incremento de

forraje seco (TIFS) ($\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y relación hoja/tallo (H/T), más las variables climáticas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) en la malla sombra. La accesión 255305 fue la de mejor respuesta en IAF, MS y TIFS, con valores de 3.2, 94.9 g planta^{-1} y 0.30 $\text{g planta}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente, en COHS; en tanto que Estanzuela Ganador tuvo la mejor respuesta en IAF en CSHS. No hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre los materiales genéticos evaluados en MS y TIFS con valores promedios de 82.4 g planta^{-1} y de 0.26 $\text{g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. Las accesiones 255301 y 226792 fueron las de mejor relación H/T con valores de 2.9 y 2.5, respectivamente. En general, el mejor comportamiento productivo en términos de MS se tuvo en primavera, verano, y verano-otoño con valores de 17.5, 11.7 y 17.7 g planta^{-1} , respectivamente.

Palabras clave: Ganadería, Trébol forrajero, Fisiología del estrés, Área foliar, Zonas áridas.

Recibido: 22/05/2023

Aceptado: 13/10/2023

Introducción

En México el 76.3 % del volumen de agua se destina a actividades agrícolas y pecuarias⁽¹⁾. Este alto consumo hídrico se relaciona al deficiente uso en el manejo de este recurso y el establecimiento de cultivos de altos requerimientos agua, lo cual agrava el problema de la escasez del vital líquido en zonas áridas. En estas regiones las sequías son cada vez más frecuentes y de mayor intensidad y su efecto es causa de pérdidas económicas en la producción agroalimentaria con el consecuente desabasto de alimentos, menor suministro de insumos para el sector industrial y una degradación de los agroecosistemas⁽²⁾. Adicionalmente, el cambio climático ha incrementado los eventos extremos de temperatura y precipitación pluvial con efecto negativo en las diferentes actividades productivas, dentro de las cuales destaca la producción de forrajes⁽³⁾. Esta actividad económica es de gran importancia en el país, con una producción nacional promedio de 30 millones 950 mil toneladas⁽⁴⁾, de las cuales el 26.7 % corresponde al cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), que es un cultivo de alta demanda de recursos hídricos⁽⁵⁾.

En la Comarca Lagunera de los estados de Durango y Coahuila, México, existe un grave problema de escasez de agua y una sobreexplotación del acuífero⁽¹⁾. Además, es común el establecimiento de cultivos agrícolas de alta demanda hídrica, con un impacto negativo desde el punto de vista económico, social y ambiental⁽⁶⁾. Esta región, es la principal cuenca lechera del país y la alfalfa es el principal cultivo forrajero establecido para alimentar 955,115

cabezas de ganado bovino estabulado⁽⁷⁾ y, el sistema de riego tradicional por aniego para este cultivo, genera una demanda de aproximadamente 2.0 m de lámina de riego por año^(8,9).

La alta demanda de productos agroalimentarios como la leche, la baja disponibilidad del recurso hídrico y el uso de cultivos forrajeros de baja eficiencia en el uso del agua, hace imperante la necesidad de explorar formas de hacer más eficiente el uso del agua para fines productivos en el sector agropecuario. El uso de cultivos alternativos a los tradicionales como la alfalfa, que compitan en cantidad y calidad productiva con menos requerimientos hídricos, es una alternativa viable que, con el apoyo de otras técnicas como el uso de coberturas vegetales que reduzcan la alta tasa de evaporación, puede ayudar a mitigar el problema de la escasez de agua⁽¹⁰⁾.

Entre los cultivos forrajeros con potencial en condiciones de agricultura marginal, destacan diferentes especies de *Lotus*, principalmente *L. corniculatus*, usada por su tolerancia al estrés a diferentes factores ambientales adversos y es manera de mejorar la producción de forraje en diversos países con veranos secos y marcado efecto de estacionalidad. Algunos reportes indican que en Nueva Zelanda, Uruguay y Chile hay materiales genéticos de *L. corniculatus* que han tenido un buen comportamiento de respuesta ante condiciones de déficit hídrico^(11,12). Existen diferentes variedades y accesiones genéticas de *L. corniculatus* que muestran alta flexibilidad de adaptación a diferentes ambientes, como tolerancia a la sequía, inundación, suelos ácidos y altos niveles de Al y Mn⁽¹³⁾.

Una de las propiedades de esta especie forrajera perenne, es su alta capacidad de rebrote después del corte o pastoreo, aunque la tasa de regeneración varía dependiendo de la variedad y el tipo de estrés, referido a temperaturas extremas, contenido de humedad del suelo y características físico-químicas y de fertilidad del suelo^(14,15). El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de respuesta en términos de área foliar y de productividad de forraje de diferentes accesiones y una variedad de *L. corniculatus* en contenido óptimo y subóptimo de humedad del suelo bajo condiciones de malla-sombra en el norte de México.

Material y métodos

Ubicación geográfica del área de estudio

El experimento se estableció en el campo experimental de Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Durango, México, ubicada a 25.8° LN y 103.6° LW, con una altitud de 1,130 m. La región corresponde a un clima seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco, la precipitación pluvial media

anual es de 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm y una temperatura media anual de 21 °C con máximas de 33.7 °C y mínimas de 7.5 °C⁽¹⁶⁾.

Diseño y conducción experimental

Se usó un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron dos contenidos de humedad en el suelo: óptimo COHS (26 % ±1.5) y subóptimo CSHS (22 % ±1.5) establecidos con base en la curva de abatimiento de humedad⁽¹⁷⁾, según ecuación de regresión obtenida:

$$\%HS = 26.57 + 13.52x + 4.97X^2$$

Donde: %HS= porcentaje de humedad del suelo; X, es la tensión energía negativa en MPa, considerando que la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) corresponden a una tensión de energía de 0 y -1.5 MPa, respectivamente. Con base en lo anterior se calcularon la CC y PMP que correspondieron a 26.5 % y 17.5 %, respectivamente. Las parcelas chicas fueron cuatro accesiones y una variedad de *L. corniculatus* procedentes de diferentes regiones (Cuadro 1).

Cuadro 1: Relación, procedencia de origen y hábito de crecimiento de los materiales genéticos de *Lotus corniculatus* evaluados en el experimento

| Código/Nombre de las accesiones/variedades | Lugar de procedencia | Hábito de crecimiento |
|--|----------------------|-----------------------|
| 255301 | Francia | Semi erecto |
| 255305 | Italia | Semi erecto |
| 202700 | Uruguay | Erecto |
| 226792 | Canadá | Semi erecto |
| Estanzuela Ganador | Uruguay | Erecto |

La unidad experimental fue una planta por maceta de plástico rígido de 20 kg de capacidad, de 35 cm de diámetro y 31.3 cm de altura. A cada maceta se le agregaron 18 kg de una mezcla de sustrato en una proporción 50:30:20 correspondiente a suelo:composta:arena. Las características del sustrato correspondieron a una textura franco-arenosa en proporción de 52 % arena, 26 % limo y 22 % arcilla, con un pH de 8.69, CE de 10.76 dS m⁻¹ y densidad aparente de 1.46 g cm⁻³. Dentro de la malla sombra se colocó un termómetro higrómetro digital marca ORIA que registró la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) diarias durante el periodo de evaluación.

El riego se realizó cada cuatro días y los contenidos de humedad del suelo se midieron por gravimetría, para lo cual, el peso de las macetas en el COHS se mantuvo en 23.9 kg y el de

CSHS en 23.0 kg. Se agregó un promedio de 0.6 L de agua por riego en ambos contenidos de humedad, con lo cual se restablecía el COHS a 27.5 % y CSHS a 23.5 %, como límites superiores de humedad del suelo, dejando disminuir ambos valores a 24.5 % y 20.5 %, como límites inferiores, respectivamente. Se tuvo un margen de 3.5 % (20.5 – 17.5) como rango de humedad aprovechable para que la planta no llegara a PMP.

Se realizaron en total de siete cortes de materia fresca, el primero en julio del 2021 y el último en mayo del 2022, previamente tuvieron un periodo de adaptación después del trasplante de 60 días y se realizó un corte de uniformización 45 días antes del primer corte. Para la realización de los cortes se consideraron periodos de crecimiento según las estaciones del año y periodos intermedios: primavera-verano (P-V), verano (V), verano-otoño (V-O), otoño (O), invierno (I), invierno-primavera (I-P) y primavera (P). El intervalo de tiempo entre cortes fue de 45 días, a excepción de I, el cual se prolongó a 90 días debido al lento crecimiento de la planta por la disminución de la temperatura.

Variables medidas

Se calculó el índice de área foliar, para lo cual se determinó primero el área foliar, mediante la selección aleatoria de 10 tallos completos por planta en cada fecha de corte. Las hojas se separaron de los tallos y fueron extendidas y fotografiadas sobre una superficie de papel blanco y se procesaron con el programa ImageJ en cada tratamiento y repetición conforme al diseño experimental. Posteriormente, la ecuación 1, adecuada a las condiciones del experimento, se obtuvo el índice de área foliar⁽¹⁸⁾.

$$IAF = \frac{AF*NT}{AT} \quad \text{-----}(1)$$

Donde: AF= área foliar de un tallo (cm²); NT= número de tallos y; AT= área total de superficie del suelo en cm² (área de la maceta= 962.11 cm²).

El follaje cosechado en cada fecha de corte por tratamiento se secó en una estufa de aire forzado marca HAFO® (modelo 1600, USA) a 60° C por 24 h o hasta peso constante, el material seco se pesó en una balanza analítica marca Shimadzu (modelo AY220M) y determinó la producción de materia seca (MS) por cada corte.

La tasa de incremento de forraje seco (TIFS) fue el cociente entre el peso seco del forraje cosechado y los días de crecimiento transcurridos en un período de corte y otro, mediante la ecuación:

$$TIFS = \frac{\text{Cantidad de Forraje (g MS planta}^{-1}\text{)}}{\text{Días de crecimiento transcurridos}} \quad \text{-----}(2)$$

La relación hoja/tallo (H/T), se obtuvo a partir de una submuestra representativa de 10 tallos de cada tratamiento, para lo cual se separaron los componentes hoja y tallo y se colocaron por separado en una estufa de aire forzado marca HAFO® (modelo 1600, USA) a 60° C por 24 h. Posteriormente se calculó la relación hoja/tallo obtenido del cociente entre el peso seco de la hoja (g MS) y el peso seco de los tallos (g MS).

Análisis de datos

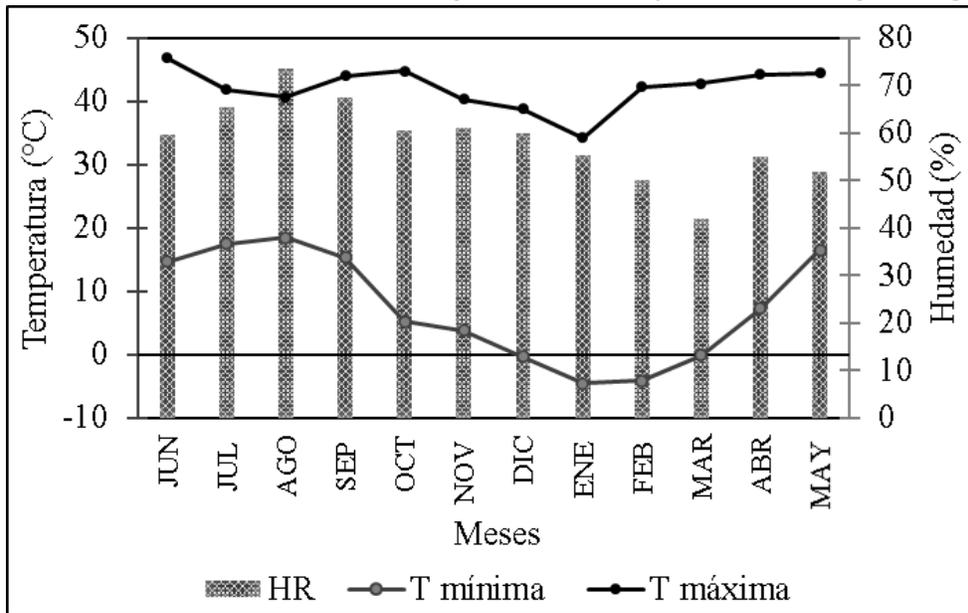
La base de datos se procesó con uso del software Statistical Analysis System⁽¹⁹⁾ con el cual se realizó un análisis de varianza y prueba de rango múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para identificar el efecto de tratamiento. Adicionalmente se utilizó el programa Excel versión 6.0 para análisis de regresión.

Resultados y discusión

Temperatura y humedad relativa

Durante el período de junio de 2021 a mayo de 2022, se registró dentro de la malla-sombra una temperatura media máxima de 30 °C y media mínima de 20 °C, así como una máxima de 46.9 °C y mínima de -4.6 °C (Figura 1), con temperaturas medias y máximas por día de 16.6 a 40.1, 19.8 a 32.7, 9.8 a 37 y 4.5 a 30 °C, durante las estaciones de primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. La humedad relativa media registrada osciló entre 44 y 73 %, con mínima entre 5-10 % en los meses de mayo a julio, y máxima de 100 % en el período de lluvia en los meses de julio, agosto y septiembre, con un promedio histórico anual de precipitación regional de 258 mm⁽¹⁶⁾ que, para evitar alteraciones del contenido de humedad del suelo en las macetas por efecto de lluvia, durante estos períodos se cubrió con una cubierta plástica el área experimental que ocuparon las macetas.

Figura 1: Temperatura máxima, mínima y humedad relativa (HR) mensual registradas durante la evaluación de diferentes materiales genéticos de *L. corniculatus* en condiciones de malla-sombra de julio 2021 a mayo 2022, Bermejillo, Dgo.



Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en la accesión 255305 en COHS con un valor de 4.7, siguiendo en importancia la 255301 y la variedad Estanzuela Ganador, con valores de 4.1 y 3.7, respectivamente. En CSHS, sobresalió la variedad Estanzuela Ganador con 3.9 y le siguieron en importancia las demás accesiones, excepto la 226792, la cual registró el valor más bajo de 2.6 (Cuadro 2). El área foliar alcanzada por una planta durante su desarrollo define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa, fuente primaria para el adecuado desarrollo de órganos y tejidos⁽²⁰⁾. Como se muestra en estos resultados, el IAF fue en general ligeramente afectado negativamente por la condición subóptima de humedad del suelo, aunque la variedad Estanzuela Ganador, mostró un comportamiento superior al promedio del IAF logrado en las condiciones óptimas de humedad del suelo.

Producción de materia seca

La producción de MS fue mayor en condiciones óptimas de humedad del suelo con un promedio de 98 g planta⁻¹ respecto a la condición subóptima (CSHS) que registró un promedio de 82 g planta⁻¹, este último sin diferencia estadística ($P \leq 0.05$) entre los materiales genéticos probados en este estudio; en tanto que en COHS, la accesión 255305 fue la de mejor respuesta con 131.8 g planta⁻¹ (Cuadro 2). Lo anterior sugiere que la productividad de biomasa depende directamente del contenido de humedad del suelo, y se afecta negativamente por igual en todos los materiales genéticos de *L. corniculatus* al pasar a un contenido subóptimo de humedad del suelo. Estos resultados difieren de los reportados en un estudio de adaptabilidad del trébol, pero con 12 materiales evaluados bajo condiciones de campo con clima templado⁽⁸⁾, donde se reportó que la accesión 202700 y la variedad Estanduela Ganador fueron las más productivas, lo cual puede estar relacionado a que las condiciones ambientales de temperatura que varió en un rango de 5 a 32 °C, son condiciones más favorables para este cultivo.

Tasa de incremento de forraje seco

La tasa de incremento de forraje seco (TIFS) fue congruente con los resultados mostrados en MS, con diferencia estadística ($P \leq 0.05$) en COHS correspondiente a la accesión 255305 como la más sobresaliente con una TIFS de 0.43 g planta¹ día⁻¹, sin diferencia estadística entre el resto de los materiales genéticos evaluados; en tanto que, en CSHS, se mostraron los valores más bajos con un promedio 0.26 g planta⁻¹ día⁻¹ sin diferencia estadística entre las accesiones y variedad evaluadas (Cuadro 2). En las especies forrajeras, tanto el rendimiento como la acumulación de biomasa de los diferentes cultivos se desarrollan de manera dinámica⁽²¹⁾, debido a la formación de nuevo tejido, el cual es altamente influenciado por las condiciones ambientales y de manejo, principalmente por la temperatura y la disponibilidad hídrica⁽²²⁾.

Relación hoja/tallo

La relación hoja/tallo (H/T) fue similar en ambos contenidos de humedad, con valores promedios de 2.3 y 2.2 en COHS y CSHS, respectivamente, con diferencia estadística entre materiales genéticos en ambos casos. La accesión 255301 sobresalió en COHS con una H/T de 2.9 y la 226792 en CSHS con un valor de 2.5 (Cuadro 2). Los resultados sugieren que, en esta variable, no se afectan los materiales genéticos al pasar de una condición óptima de

humedad del suelo a una subóptima, lo cual hace posible el ahorro de agua, sin que se afecte significativamente este indicador de productividad. Es deseable que este valor sea lo más alto posible, ya que lo determina el componente hoja y este órgano es la parte más digestible del forraje y de mayor contenido de proteínas, muy superior a los demás órganos de la planta, por lo cual es el órgano con mayor valor nutritivo⁽²³⁾. Los resultados obtenidos de H/T de las accesiones 255305, 202700 y 226792 en ambos contenidos de humedad del suelo fueron similares a los obtenidos en una región templada de México⁽⁸⁾ donde se reportaron valores de 2.4, 1.7 y 2.3, respectivamente. Adicionalmente, los valores obtenidos en la accesión 255301 y Estanzuela Ganador, fueron más altos que los obtenidos por los estudios antes mencionados, quienes reportaron una relación de 2.0 y 1.5 respecto a 2.9 y 1.9 obtenidos en el presente estudio en COHS. Lo anterior es relevante, dado que el estudio se realizó en un clima cálido seco que, aun cuando fue en condiciones de malla sombra, se registraron eventos extremos de clima, considerados como condiciones muy desfavorables respecto de los climas templados fríos de los que provienen la mayoría de los materiales genéticos objeto de este estudio.

Cuadro 2: Índice de área foliar e indicadores de productividad de accesiones/variedad de *L. corniculatus* bajo contenidos de humedad del suelo óptimo y subóptimo

| Accesión/ Variedad | IAF | | MS (g planta ⁻¹) | | TIFS (g planta ⁻¹ día ⁻¹) | | H/T | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| | COHS | CSHS | COHS | CSHS | COHS | CSHS | COHS | CSHS |
| 255301 | 4.1 ^{ab} | 3.1 ^{ab} | 98.8 ^b | 74.5 ^a | 0.32 ^b | 0.24 ^a | 2.9 ^a | 2.2 ^{ab} |
| 255305 | 4.7 ^a | 3.3 ^{ab} | 131.8 ^a | 85.7 ^a | 0.43 ^a | 0.27 ^a | 2.4 ^{ab} | 2.3 ^{ab} |
| 202700 | 3.0 ^b | 3.6 ^{ab} | 89.3 ^b | 94.9 ^a | 0.29 ^b | 0.30 ^a | 1.7 ^b | 1.7 ^b |
| 226792 | 2.7 ^b | 2.6 ^b | 79.5 ^b | 79.3 ^a | 0.25 ^b | 0.26 ^a | 2.5 ^{ab} | 2.5 ^a |
| Est.Gan. | 3.7 ^{ab} | 3.9 ^a | 90.7 ^b | 78.4 ^a | 0.28 ^b | 0.24 ^a | 1.9 ^b | 2.2 ^{ab} |
| Promedio | 3.6 | 3.3 | 98.0 | 82.4 | 0.32 | 0.26 | 2.3 | 2.2 |

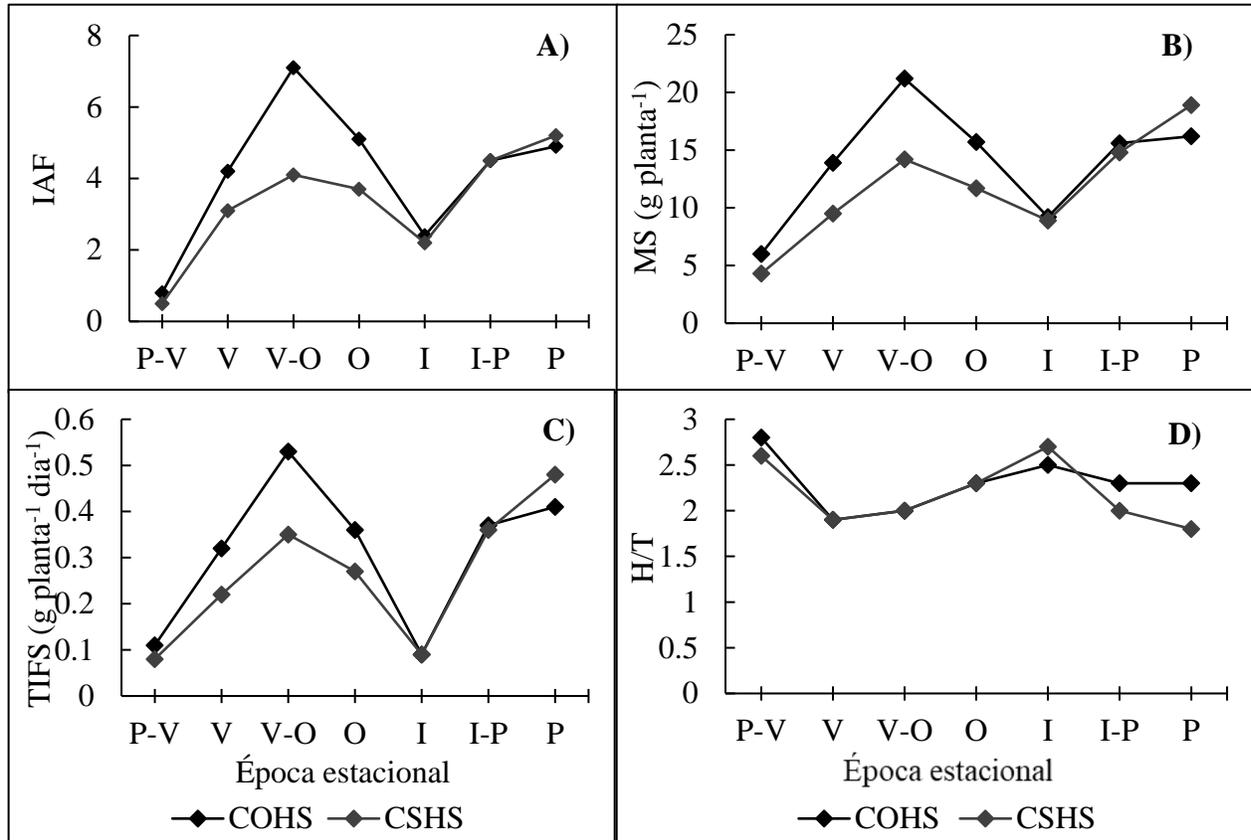
COHS=contenido óptimo de humedad del suelo (26 % ± 1.5); CSHS= contenido subóptimo de humedad del suelo (22 % ± 1.5); IAF= índice de área foliar; MS= materia seca; TIFS= tasa de incremento de forraje seco; H/T= relación hoja/tallo.

^{ab} Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son iguales ($P>0.05$).

Dinámica estacional de indicadores productivos

En general, el comportamiento estacional de *L. corniculatus* fue variable en términos de las variables IAF, MS y TIFS, las cuales fueron mayores durante primavera, verano y verano-otoño, en particular la MS con una producción de 17.5, 11.7 y 17.7 g planta⁻¹, respectivamente y una drástica disminución durante la época invernal (Figura 2A, 2B y 2C); en tanto que la H/T se mantuvo estable a lo largo del período de evaluación (Figura 2D).

Figura 2: Dinámica temporal de: A) Índice de área foliar (IAF); B) Materia seca (MS); C) Tasa de incremento de forraje seco (TIFS); y D) Relación hoja/tallo (H/T) de *L. corniculatus* en diferentes estaciones del año en contenido óptimo (COHS) y subóptimo (CSHS) de humedad del suelo, durante el período de junio de 2021 a mayo de 2022



El IAF mostró los valores más altos en el periodo de primavera, verano y verano-otoño, destacando en el COHS durante el verano, para después igualarse en comportamiento los dos contenidos de humedad del suelo (COHS y CSHS) en el resto del año (Figura 2A); un comportamiento similar se tuvo en la MS (Figura 2B) y en TIFS (Figura 2C); la H/T mostró una menor variación por el contenido de humedad del suelo durante todo el periodo de evaluación (Figura 2D). Estos resultados son coincidentes con el comportamiento temporal de la temperatura, la cual incrementa con el inicio de la primavera y alcanza sus valores más altos durante el verano, lo cual está relacionado a una mayor incidencia de radiación solar con el consecuente incremento de la tasa fotosintética, para después iniciar su descenso en la estación de otoño, por el inicio de decremento de la temperatura⁽²⁴⁾. Los valores más altos de IAF se traducen en una mayor producción de biomasa⁽²⁵⁾.

Los resultados de productividad obtenidos, coinciden con los obtenidos en una región templada de México⁽²⁶⁾, donde los mayores rendimientos se obtuvieron en primavera y los

menores en otoño, sin embargo, no son coincidentes con la producción obtenida en verano, donde en el presente estudio, registró los valores más altos. Este comportamiento de respuesta, sugiere estar relacionados al mayor régimen de altas temperaturas, con promedio de 22 °C, lo cual favorece el crecimiento y desarrollo de *L. corniculatus*⁽⁸⁾. A pesar de que hubo una disminución en la producción de forraje en el periodo de invierno, en primavera vuelve a aumentar la producción de MS, lo cual demuestra la tolerancia de las plantas a bajas temperaturas, de hasta -4 °C, con capacidad de recuperación pasado el estrés térmico⁽²⁷⁾.

El conocimiento de la acumulación del forraje de *L. corniculatus* por día y su influencia estacional, permitirá realizar estimaciones futuras sobre el rendimiento y la persistencia del forraje durante estos periodos durante el año y establecer diferentes estrategias de manejo y aprovechamiento en condiciones de campo. En este caso, la mayor TIFS se obtuvo en el periodo de primavera, verano y otoño en ambos contenidos de humedad del suelo, donde el COHS presentó el valor más alto con 0.53 g planta⁻¹ día⁻¹.

La respuesta obtenida en la H/T fue la de mayor estabilidad entre periodos de corte en los contenidos de humedad establecidos, solo se observó diferencia en primavera-verano, donde la relación fue más alta en COHS con 2.8 y en CSHS de 2.6, seguido del periodo de invierno y primavera. Este comportamiento es similar al observado en una región templada⁽²⁶⁾, donde los valores más altos en H/T se observaron en invierno y otoño, seguidos de primavera y verano, con valores de 2.4, 2.7, 2.0 y 2.1, respectivamente. Este indicador señala que no hay diferencias entre los materiales genéticos evaluados para un mismo estado fenológico⁽²⁸⁾. Considerando dicha característica se puede implementar una secuenciación de uso y aprovechamiento del forraje en establecimientos futuros del trébol con fines productivos y de calidad nutricional^(29,30).

Conclusiones e implicaciones

El mejor comportamiento productivo de las accesiones y variedad evaluadas del trébol *L. corniculatus* se presentó en las estaciones de primavera, verano y verano-otoño sobresaliendo la accesión 255305 en índice de área foliar, producción de materia seca y tasa de incremento de forraje en condiciones óptimas de humedad del suelo (26 °C ± 1.5), en tanto, la variedad Estanduela Ganador presentó un mejor índice de área foliar en condiciones de déficit hídrico. La evaluación de materiales genéticos de *L. corniculatus* a través de variables como el índice de área foliar e indicadores productivos, permitirá seleccionar los de mayor potencial de adaptabilidad como cultivo forrajero alternativo en condiciones ambientales de temperaturas extremas y de déficit hídrico como las que prevalecen en las zonas áridas del norte de México.

Agradecimientos y conflicto de interés

Agradecimientos al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo becario a la Tesista de Maestría Sahara Xolocotzi Acoltzi; al Colegio de Posgraduados por la donación de los materiales genéticos usados en el estudio y a la Dirección General de Estudios de Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo financiero a través del proyecto estratégico institucional con clave 20017-EI.

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Literatura citada:

1. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. 2018. https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf .
2. Lobato SR, Mejía EPI. Perspectivas de la sequía actual en México. *Perspectivas IMTA* 2021;16: 1-3. <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/perspectivas/2021/b-imta-perspectivas-2021-16.pdf> .
3. Castillo A. Generación de híbridos interespecíficos de *L. uliginosus* x *L. corniculatus* y evaluación de la respuesta a déficit hídrico [tesis doctorado]. Uruguay; Universidad de la República de Uruguay; 2012. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/3933/1/uy24-16039.pdf>.
4. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Alfalfa verde, producción y comercio exterior. México. 2018. <https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-y-comercio-exterior>.
5. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario 2022. 2022. <https://online.pubhtml5.com/aheiy/gryd/#p=1>.
6. Ramírez BBA, González EA, Salas GJM, García SJA. Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. *Rev Mex Cienc Agríc* 2019;10(3):539-550. <http://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1295>.
7. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Bovino para leche, población ganadera. 2021. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/744951/Inventario_2021_bovinos_carne_y_leche.pdf .

8. García BDV, Guerrero RJD, García SG, Lagunes RSA. Rendimiento y calidad de forraje de genotipos de *Lotus corniculatus* L., en el Estado de México. Nov Sci 2014; 7(1):170-189. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100010.
9. Reta SDG, Castellanos GPC, Olague RJ, Quiroga GHM., Serrato CJS, Gaytán MA. Potencial forrajero de cuatro especies leguminosas en el ciclo de verano en la Comarca Lagunera. Rev Mex Cienc Agríc 2013;4(5):659-671.
10. Bacarrillo-López R, Pedroza-Sandoval A, Inzunza-Ibarra MA, Flores-Hernández A, Macías-Rodríguez FJ. Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia* spp.) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo. Ecosist Recur Agropec 2021;8(3):1-10. <http://doi.org/10.19136/era.a8n3.2878>.
11. PROCISUR. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. LOTASSA: Un puente entre la genómica y las pasturas del siglo XXI. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2010. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6573>.
12. Barry TN, Kemp PD, Ramírez-Restrepo CA, López-Villalobos N. Sheep production and agronomic performance of *Lotus corniculatus* under dryland farming. NZGA: Research and Practice Series 2003;(11):109-115. <http://doi.org/10.33584/rps.11.2003.3003>.
13. Guillen R, Widdup K. Program of improvement in *Lotus corniculatus* L.: Base Germplasm characterization. *Lotus Newsletter* 2008;(38):1-67. <http://www.inia.org.uy/sitios/lnl/vol382/guillen1.pdf>.
14. Varón LES. Fitometabolitos secundarios que inciden en el valor nutricional de *Lotus corniculatus* como forraje para rumiantes. Rev Investig Agrar Ambient 2014;5(1):131-146. <https://doi.org/10.22490/21456453.938>.
15. Difante DSG, Do Nascimento JD, Batista-Euclides VP, Da Silva SC, Barbosa AR, Concalves VW. Sward structure and nutritive value of tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. Rev Bras de Zoot 2009;38(1):9-19. <http://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100002>.
16. Medina GG, Díaz PG, López HJ, Ruíz CJA, Marín SM. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961 – 2003). Libro Técnico Nº 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP. 2005.
17. Richards LA. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Sci 1948;(66):105-110.

18. Reis LS, de Acevedo CAV, Albuquerque AW, Junior JFS. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Rev Bras Eng Agr Amb* 2013;17(4):386-391. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400005>.
19. SAS, Institute. SAS/STAT® 9.2. Use's Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 2009.
20. Warnock R, Valenzuela J, Trujillo A, Madriz P, Gutiérrez M. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agr Trop* 2006;56(1):21-42. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000100002.
21. Valentine I, Matthew C. Plant growth, development and yield. In: White J, Hodgson J editors. *New Zealand Pasture and Crop Science*. Auckland, New Zealand; Ed. Oxford University Press; 1999:11-27.
22. Ramírez RO, Hernández GA, Cerneiro da Silva S, Pérez PJ, Enríquez QJF, Quero CAR, Herrera HJG, Cervantes NA. Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. *Téc Pecu Méx* 2009;47(2):203-213. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61312116008>.
23. Lamb JF, Jung HJG, Sheaffer CC, Samac DA. Alfalfa leaf protein and stem cell wall polysaccharide yields under hay and biomass management systems. *Crop Sci* 2007;47(4):1407-1415. <http://doi.org/10.2135/cropsci2006.10.0665>.
24. Caron B, Sgarbossa J, Schwerz F, Elli EF, Elder E, Behling A. Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. *Ann Acad Bras Cienc* 2018;90(4):3799-3812. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820180282>.
25. Escalante EJA. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 1999;17(2):149-157. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317208>.
26. Álvarez VP, García SG, Guerrero RJ, Mendoza PSI, Ortega CM, Hernández GA. Comportamiento productivo de *Lotus corniculatus* L. dependiente de la estrategia de cosecha. *Agrociencia* 2018;52(8):1081-1093. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000801081.
27. Sbrissia AF, Da Silva SC, Sarmiento DOL, Molan LK, Andrade FME, Goncalves AC, Lupinacci AV. Tiller dynamics in palisadegrass swards continuously stocked by cattle. *Plant Ecol* 2010;(206):349-359. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11258-009-9647-7>.

28. Araya MM, Boschini FC. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agron Mesoam* 2005;16(1):37-43. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v16n01_037.pdf.
29. Beltrán SI, Hernández AG, García EM, Pérez PJ, Kohashi JS, Herrera JG, Quero AR, González SS. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un invernadero. *Agrociencia* 2005;39(2):137-147. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/377>.
30. Cruz HA, Hernández GA, Enríquez QJF, Gómez VA, Ortega JE, Maldonado GNM. Producción de forraje y composición morfológica del Pasto Mulato (*Brachiaria híbrida* 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Rev Mex Cienc Pecu* 2011;2(4):429-443. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242011000400007&lng=es&tlng= .