



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

**Evaluación de leguminosas forrajeras anuales como  
complementarias a la producción de forraje**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

Presenta:

**JESÚS ADÁN MARTÍNEZ ZARAGOZA**

Bajo la supervisión de: **Pedro Arturo Martínez Hernández, Ph.D.**



Chapingo, Estado de México, mayo de 2022



**EVALUACIÓN DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS ANUALES COMO  
COMPLEMENTARIAS A LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE**

Tesis realizada por **JESÚS ADÁN MARTÍNEZ ZARAGOZA**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

DIRECTOR:



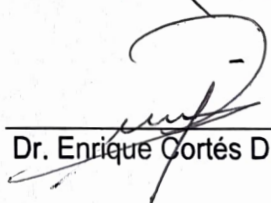
Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR:



Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez

ASESOR:



Dr. Enrique Cortés Díaz

## CONTENIDO

|                                                                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE CUADROS .....                                                                                       | iv   |
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                                         | v    |
| DEDICATORIAS.....                                                                                            | vi   |
| DATOS<br>BIOGRÁFICOS.....                                                                                    | vii  |
| RESUMEN GENERAL.....                                                                                         | viii |
| GENERAL ABSTRACT .....                                                                                       | ix   |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....                                                                       | 1    |
| CAPÍTULO 2. EL DOSEL FORRAJERO COMO PROMOTOR DE LA SALUD<br>DEL SUELO.....                                   | 3    |
| CAPÍTULO 3. AGRONOMÍA DE <i>Panicum virgatum</i> L.<br>.....                                                 | 17   |
| CAPÍTULO 4. POTENCIAL DE ALGUNAS LEGUMINOSAS ANUALES COMO<br>FORRAJERAS DE<br>INVIERNO.....                  | 30   |
| CAPÍTULO 5. PERFIL DE LA BIOMASA AÉREA ACUMULADA EN VERANO<br>DE <i>CROTALARIA</i> <i>PUMILA</i><br>Ort..... | 40   |
| CONCLUSIONES<br>GENERALES.....                                                                               | 47   |

## LISTA DE CUADROS

### Capítulo 3

Cuadro 1. Concentración mineral y de proteína cruda (PC) en biomasa aérea de *Panicum virgatum* a diferente estado de desarrollo ..... 21

Cuadro 2. Calidad del forraje y consumo de *P. virgatum* conservado como heno o ensilado .....22

### Capítulo 4

Cuadro 1. Calificación de establecimiento a 35 días de la siembra y rendimiento total y por componentes en tres entradas de leguminosas anuales .....35

### Capítulo 5

Cuadro 1. Estadísticos del efecto del número de días transcurridos en el verano sobre variables agronómicas del *Crotalaria pumila* Ort. .... 44

Cuadro 2. Rendimiento total y por componentes de *Crotalaria pumila* Ort.. 46

Cuadro 3. Aporte (%) de cada componente a la biomasa aérea de *Crotalaria pumila* Ort. a través del verano ..... 47

Cuadro 4. Altura de planta y presencia por planta de componentes de la biomasa aérea en *Crotalaria pumila* Ort. en el transcurso del verano ..... 48

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Chapingo y en especial al Posgrado en Producción Animal por brindarme la oportunidad de desarrollarme académicamente en esta etapa de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández por la ayuda, tiempo y dirección brindada para la realización de esta tesis. Por sus consejos, motivaciones y por la confianza brindada durante mis estudios de maestría.

A los doctores José Luis Zaragoza Ramírez y Enrique Cortés Díaz por las sugerencias y consejos para la realización de este trabajo de investigación.

A todas las personas que me ayudaron directa o indirectamente para culminar mis estudios de maestría.

Al Maestro Adán Vázquez Tomás por la amistad formada y por sus sugerencias a lo largo de mi posgrado.

A la Ingeniera Neffertari Arias por ser mi guía y apoyo desde antes de ingresar al posgrado.

## **DEDICATORIAS**

A mi madre por su amor y esfuerzo que me permitieron llegar hasta esta etapa, por motivarme a siempre dar mi mayor esfuerzo en cada momento de mi vida.

A mi padre por enseñarme a no dejarme rendir por las circunstancias, a siempre buscar alternativas para salir adelante.

A mis hermanos por ser mis confidentes, mi apoyo y mi fortaleza.

A mi familia por siempre estar al tanto de mi situación y darme ánimos en todo momento, en especial a mi abuela materna.

A mi novia Vanessa por apoyarme, motivarme y acompañarme en esta etapa de mi vida.

A la familia Palma Arias y Vázquez Tomás por haberme adoptado como uno de sus hijos.

A la memoria de mi abuelo Santos.

## DATOS BIOGRÁFICOS



### Datos personales

|                     |                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| Nombre              | Jesús Adán Martínez Zaragoza                    |
| Fecha de nacimiento | 17 de julio de 1996                             |
| Lugar de nacimiento | Tampico, Tamaulipas                             |
| CURP                | MAZJ960717HTSRRS00                              |
| Profesión           | Ingeniero Agrónomo Especialista<br>en Zootecnia |
| Cédula Profesional  | 11897744                                        |

### Desarrollo académico

|                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Maestría en Ciencias<br>(2020-2021) | DEIS en Zootecnia<br>Posgrado en Producción Animal<br>Universidad Autónoma Chapingo |
| Licenciatura<br>(2014-2018)         | DEIS en Zootecnia<br>Universidad Autónoma Chapingo                                  |

## RESUMEN GENERAL

### EVALUACIÓN DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS ANUALES COMO COMPLEMENTARIAS A LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE<sup>1</sup>

La investigación en forrajes debe incorporar la validación de especies con base en el aporte de servicios ecosistémicos en el ambiente, además de la cantidad y calidad del forraje. El presente trabajo consta de dos revisiones bibliográficas y dos ensayos de campo. La primer revisión abordó el impacto positivo de especies forrajeras sobre la conservación y recuperación de la salud del suelo, concluyendo que las plantas anuales y perennes brindan protección al suelo contra la erosión hídrica y eólica, además de mejorar características físicas, químicas y biológicas del suelo. La segunda revisión analizó las características de *Panicum virgatum*, utilizada para producción de biomasa; se encontró que esta especie puede crecer en suelos erosionados y promover su rehabilitación de acuerdo con el manejo agronómico que se aplique. Por otro lado, los dos ensayos de campo valoraron distintas leguminosas. Un estudio evaluó el establecimiento de leguminosas anuales como forrajes de invierno, utilizando a veza común como especie testigo, las otras dos fueron chícharo común y de invierno. Los chícharos mostraron mejor establecimiento inicial que veza común; sin embargo, a la cosecha final, veza común los superó ( $p<0.05$ ) registrando más de 2 veces rendimientos total y de hoja; se concluye que aun cuando los chícharos común y de invierno no superaron a veza común en rendimiento de forraje, debe continuarse con su estudio como fuentes alternativas de forraje invernal. El otro ensayo estimó la biomasa aérea acumulada en verano de *Crotalaria pumila* Ort., leguminosa nativa mexicana. Conforme avanzó el verano, los rendimientos totales y de vaina se incrementaron ( $p<0.05$ ) mientras que el de hoja disminuyó ( $p<0.05$ ), aun así, el rendimiento total varió de 9 a 20 t ha<sup>-1</sup> por lo que se concluye que *Crotalaria pumila* puede utilizarse para la producción de forraje durante el verano.

**Palabras clave:** erosión, switchgrass, rendimiento total, leguminosa nativa.

---

<sup>1</sup>Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal  
Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: Jesús Adán Martínez Zaragoza  
Director: Pedro Arturo Martínez Hernández

## GENERAL ABSTRACT

### Evaluation of annual forage legumes as complement to forage production<sup>1</sup>

Forage research should incorporate the validation of species based on their contribution of ecosystem services to the environment, in addition to the quantity and quality of forage. The present work consists of two literature reviews and two field trials. The first review addressed the positive impact of forage species on the conservation and recovery of soil health, concluding that annual and perennial plants provide soil protection against water and wind erosion, in addition to improving physical, chemical and biological soil characteristics. The second review analyzed the characteristics of *Panicum virgatum*, used for biomass production; it was found that this specie can grow in eroded soils and promote its rehabilitation according to the agronomic management applied. On the other hand, the two field trials evaluated different legumes. One study evaluated the establishment of annual legumes as winter forages, using common vetch as a control specie, the other two were common and winter pea. Peas showed better initial establishment than common vetch; however, at final harvest, common vetch outperformed them ( $p<0.05$ ), registering more than 2 times total and leaf yields; it is concluded that even though common and winter peas did not outperform common vetch in forage yield, their study should be continued as alternative sources of winter forage. The other trial estimated the accumulated aerial biomass in summer of *Crotalaria pumila* Ort., a native mexican legume. As the summer progressed, total and pod yields increased ( $p<0.05$ ) while leaf yield decreased ( $p<0.05$ ), even so, total yields varied from 9 to 20 t ha<sup>-1</sup>, which leads to the conclusion that *Crotalaria pumila* can be used for forage production during the summer.

**Key words:** erosion, switchgrass, total yield, native legume.

---

<sup>1</sup>Master Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production  
Universidad Autónoma Chapingo  
Author: Jesús Adán Martínez Zaragoza  
Advisor: Pedro Arturo Martínez Hernández

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La investigación en la producción y aprovechamiento de los forrajes además de responder al paradigma tradicional de validar estrategias para lograr alimentar al mayor número de animales con el mayor aporte nutrimental por unidad de superficie a la par de un uso eficiente de los recursos edáficos, climáticos, químicos y biológicos, debe también incorporar la reducción de cualquier impacto negativo sobre el ambiente (emisiones de metano entérico) y biológico, en algunos casos rehabilitar características físicas, químicas y biológicas del suelo, y fomentar la biodiversidad y resiliencia de los ecosistemas al cambio climático (Bhatta & Malik, 2015; Peeters, 2015).

Un sendero para que la investigación en forrajes afronte la ampliación del paradigma tradicional es la intensificación en investigaciones sobre la incorporación en cadenas forrajeras de leguminosas nativas e introducidas y de gramíneas con alto potencial para capturar carbono, generar una masa de raíces promotora de la biología y cobertura del suelo (Das, Mahanta, Singh & Misra, 2015; Goff, Lacefield & Smith, 2015).

El documento presente se organiza bajo esta perspectiva de ampliación del paradigma tradicional. El Capítulo 2, en formato de artículo de revisión, presenta una investigación a partir de publicaciones científicas sobre el papel que puede jugar el dosel vegetal forrajero en la salud del suelo. El Capítulo 3, en formato de artículo de investigación, es también una investigación bibliográfica sobre la especie *Panicum virgatum* L. que es una gramínea C<sub>4</sub> perenne nativa de Norteamérica, de amplia adaptación climática y edáfica, con altas tasas de crecimiento y acumulación de biomasa aérea y subterránea en suelos erosionados dentro de una estación de crecimiento (Barney et al., 2009; Casler & Boe, 2003). Esta especie se ha usado para proveer forraje para ganado, protección del suelo desnudo contra la erosión, anidación y refugio para la vida silvestre, y materia prima para bioenergéticos (USDA-NRCS, 2001). La variedad de usos hace que esta especie sea motivo de varias investigaciones de diferente índole, entre ellas su manejo agronómico.

En el Capítulo 4 se presenta un artículo científico derivado de la evaluación del comportamiento inicial de seis especies de leguminosas anuales de

invierno como alternativas al cultivo de la veza común (*Vicia sativa* L.) que es la leguminosa anual de invierno más extendida en la zona oriente del Estado de México y áreas colindantes de los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, con excelente adaptación, pero de lento crecimiento inicial.

El Capítulo 5 es un segundo artículo científico originado del seguimiento al perfil de la biomasa aérea acumulada en el transcurso del verano de *Crotalaria pumila* Ort. leguminosa nativa del altiplano mexicano (Vibrans, 2009).

## LITERATURA CITADA

- Barney, J. N., Mann, J. J., Kyser, G. B., Blumwald, E., Van Deynze, A., & DiTomaso, J. M. (2009). Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: Ecological implications. *Plant Science*, 177(6), 724–732, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.09.003>
- Bhatta, R., & Malik, P.K. (2015). Enteric methane amelioration through pasture grazing and other feed based approaches. In, Ghosh, P.K., Mahanta, S.K., Singh, J.B. & Pathak P.S. [Eds.] *Grassland: A global resource perspective*. Range Management Society of India, Jhansi, India. 403-416.
- Casler, M. D., & Boe, A. R. (2003). Cultivar x environment interactions in Switchgrass. *Crop Science*, 43(6), 2226–2233, doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2226>
- Das, M.M., Mahanta, S.K., Singh, K.K., & Misra, A.K. (2015). Tropical grasses and legumes for nutritional security of livestock. In, Ghosh, P.K., Mahanta, S.K., Singh, J.B. & Pathak P.S. [Eds.] *Grassland: A global resource perspective*. Range Management Society of India, Jhansi, India. 269-282.
- Goff, B.M., Lacefield, G.D., & Smith, S.R. (2015). Temperate legumes for grasslands: Their importance and current limitations. In, Ghosh, P.K., Mahanta, S.K., Singh, J.B. & Pathak P.S. [Eds.] *Grassland: A global resource perspective*. Range Management Society of India, Jhansi, India. 193-214.
- Peeters, A. (2015). Environmental impacts and future challenges of grasslands and grassland-based livestock production systems in Europe. In, Ghosh, P.K., Mahanta, S.K., Singh, J.B. & Pathak P.S. [Eds.] *Grassland: A global resource perspective*. Range Management Society of India, Jhansi, India. 365-390.
- USDA-NRCSservice. (2001). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) Plant Fact Sheet. Consultada en [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_PLANTMATERIALS/publications/gapmcs10202.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/gapmcs10202.pdf)
- Vibrans, H. (2009). *Crotalaria pumila* Ort. Consultada en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/crotalaria-pumila/fichas/ficha.htm>

## **CAPÍTULO 2. EL DOSEL FORRAJERO COMO PROMOTOR DE LA SALUD DEL SUELO**

J. A. Martínez-Zaragoza, P. A. Martínez-Hernández

### **Resumen**

La erosión del suelo ocasionada La salud del suelo es un concepto acuñado para referirse a la función múltiple del suelo en asociación a la de generar cosechas. Varios son los factores que reducen la salud de un suelo, entre ellos las erosión hídrica y eólica, pérdida de estructura física y empobrecimiento biológico. Los doseles forrajeros pueden ser una opción para conservar, mejorar y rehabilitar la salud de un suelo a la vez que provee de forraje para animales. La cobertura permanente o estratégica del suelo con doseles forrajeros lo protege contra la erosión hídrica y eólica, una masa radical profusa y profunda genera un ambiente proclive a la prosperidad de una población microbiana diversa con funciones de minado, solubilización y transporte de minerales que nutren eficaz y eficientemente a la población vegetal que a su vez mejora la salud del suelo generando un círculo virtuoso entre el suelo y la vegetación. La integración de gramíneas, leguminosas, herbáceas y leñosas con el propósito de producir forraje también es una alternativa para conservar, mejorar y recuperar la salud del suelo. La conclusión es que el manejo y aprovechamiento de doseles forrajeros no tan solo debe responder a obtener la máxima cantidad y calidad de forraje para apuntalar la ganadería también debe incorporarse como un aspecto medular el impacto positivo sobre la salud del suelo.

Palabras clave: Erosión, microbios del suelo, masa radical

### **Abstract**

Soil health is a concept developed to indicate the multiple soil functions besides the generation of crop yields. There are many factors that constrain soil health, among them: water and wind erosion, break of soil physical characteristics and poor biological functions. Forge cover could come to be an option to preserve, improve and rehabilitate soil health at the same time that provides forage for animal intake. Permanent and strategic soil forage cover protects soil against water and wind erosion, a profuse and

deep root mass promotes a large soil microbe population that mines, dissolves and carries minerals that feed efficiently plant population cover that in turn improves soil health and generates a virtuous circle soil-vegetation. Grasses, legumes, herbaceous and woody plants integration to provide forage is also an alternative to preserve, improve and rebuild soil health. Conclusion is that management and use of forage plant covers in addition to search for maximum forage quantity and quality should include to achieve positive impact on soil health.

Key words: Erosion, soil microbes, root mass.

## **Introducción**

El suelo es la cubierta superficial de la corteza terrestre que sirve de medio o sustrato para el crecimiento y desarrollo de las plantas terrestres, dentro de este concepto del suelo como sustrato, se ha desarrollado el tema de salud del suelo, que consiste en que el suelo presente un conjunto de características físicas, químicas y biológicas que le permitan generar cosechas mayores y más rentables al mismo tiempo que mantener o aumentar su capacidad de acumular carbono, infiltrar agua al perfil del suelo, ser hábitat para una mayor cantidad y diversidad de vida silvestre y polinizadores (NRCS, 2021) reducir o anular la liberación a la atmósfera de dióxido de carbono, óxido nitroso y otros gases de efecto invernadero (González *et al.*, 2016; Jiao *et al.*, 2009) y otros servicios ecosistémicos (Wall *et al.*, 2012).

Varias son las prácticas de manejo para incrementar, mantener o recuperar la salud del suelo, entre ellas están: labranza de conservación, cultivos de cobertura y para abono verde y esquemas de rotación de cultivos (NRCS, 2021). La erosión del suelo, que es la eliminación de la cubierta superficial de la corteza terrestre por medio del agua, viento o prácticas inadecuadas es uno de los factores que atenta contra la salud del suelo y por tanto de sus capacidades productivas (FAO, 2015) y de servidumbre ambiental (FAO, 2021).

La agricultura en varios países tropicales y subtropicales con superficies dedicadas a una agricultura de subsistencia, demanda de protocolos encaminados a reducir la erosión de los suelos y recuperar, mantener o incrementar su salud, para mantener la producción agrícola y pecuaria sostenible ambiental y económicamente (Lal, 2001). De forma más reciente, Lal (2020a) enfatiza que la salud del suelo debe ser un factor para considerar dentro de la ganadería debido a que 75-77% de la superficie terrestre con uso en

agricultura está destinada a la alimentación y crianza de animales, además Lal (2020b) señaló que revertir la erosión del suelo es a la vez un medio para mitigar el impacto de los gases de efecto invernadero. Aún en regiones áridas y semiáridas el dosel vegetal forrajero, bajo buenas prácticas de manejo, tiene potencial para restaurar, mantener y mejorar la salud del suelo (Lal, 2002). Para México, se ha indicado que el suelo en poco más del 60 % de su territorio nacional demanda prácticas de manejo encaminadas a mejorar la salud de este (CONAFOR-UACH, 2013) además de que al menos 50 % de la superficie mexicana se destina a la ganadería.

El objetivo de la presente revisión es analizar el papel que puede tener el cultivo de doseles vegetales forrajeros sobre características físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas a la recuperación, mantenimiento o aumento de la salud de los suelos, mediante la compilación de información científica publicada para encuadrar a la producción de forraje como una herramienta para el manejo sustentable del suelo y no tan solo como fuente de alimento para animales de interés ganadero.

Para desarrollar el impacto del dosel vegetal forrajero sobre la salud del suelo se desglosará a continuación la relación entre dicho dosel con características del suelo asociadas a la salud del mismo, entre ellas control de la erosión y las derivadas de procurar hábitat a macro y microflora y fauna del suelo (Moebius-Clune et al., 2016).

### **Dosel vegetal forrajero y la erosión del suelo**

SEMARNAT y CP (2003) identifican que la erosión o desplazamiento del suelo puede darse por escorrentías superficiales del agua o erosión hídrica y acarreo por ráfagas de viento o erosión eólica.

La erosión hídrica del suelo se evidencia por la formación de canales o cárcavas que crecen en profundidad y anchura de no aplicarse algún protocolo de remediación para evitar el acarreo del suelo en el agua que escurre superficialmente por estas cárcavas o canales (Gómez *et al.*, 2011). El relieve del área y características físicas del suelo influyen en la tasa de crecimiento (profundidad y anchura) de las cárcavas, pendientes pronunciadas y escaso material aglutinante en el suelo favorecen la tasa de crecimiento de las cárcavas y exigen mayor cuidado para reducir el volumen y velocidad de los escurrimientos superficiales del agua (Lucía et al., 2008).

El control en la formación y crecimiento de las cárcavas es de suma importancia ya que a través de una sola cárcava puede desplazarse anualmente hasta 77 toneladas de suelo por ha (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009), el suelo desplazado reduce el potencial productivo del lugar de origen del mismo y cuenca abajo, el suelo se acumula como sedimento en embalses naturales o artificiales, disminuyendo la capacidad de almacenamiento de agua de los mismos lo que genera severos problemas por menor cantidad de agua para otros usos e impactos negativos en el ecosistema acuático asociado (Thomas *et al.*, 2004; Clarke y Rendell, 2006).

La recuperación de la salud de un suelo sujeto a erosión hídrica implica necesariamente evitar el crecimiento de las cárcavas y en lo posible su disminución y erradicación (Rivera *et al.*, 2007; Vicente *et al.*, 2009). CONAFOR (2018) con el propósito de evitar la formación y crecimiento de las cárcavas, compendió un conjunto de prácticas para delinear el relieve del suelo con uso de maquinaria y mano de obra y dirigir el movimiento superficial del agua. Entre estas prácticas están: zanja bordo, zanja trinchera, bordos de tierra, piedras o material vegetal en curvas de nivel, terrazas individuales, fracturar capas de suelo compactado.

La erosión eólica es relevante en suelos agrícolas especialmente si provienen de la apertura de la frontera agrícola sobre terrenos previamente con vegetación nativa. Esto debido a que el suelo agrícola se mantiene sin cobertura vegetal por periodos largos de tiempo (Rojas *et al.*, 2013).

En ambientes semiáridos con estaciones definidas lluviosa y seca, se deben validar prácticas culturales para favorecer una resistencia mayor del suelo a la erosión eólica. Entre estas prácticas está fomentar una cobertura vegetal promotora de sustancias orgánicas cementantes que formen agregados estables del suelo y laboreo del suelo que permita la formación de agregados del suelo de mayor tamaño y estabilidad, ambas prácticas encaminadas a reducir la fracción del suelo susceptible a la erosión eólica (Colazo y Buschiazzi, 2010).

El impacto positivo sobre la salud del suelo por la incorporación de materia orgánica puede acelerarse si a la par de la incorporación, se crecen cultivos como alfalfa cuyas raíces son muy activas en promover en el perfil del suelo una abundante población microbiana proclive a la rápida descomposición de la materia orgánica (Naderizadeha *et al.*, 2010).

Las erosiones hídrica y eólica ejercen mayor presión sobre los suelos, si están desprovistos de cobertura vegetal por tiempos prolongados, la pobre o falta de cobertura vegetal se ha señalado como un factor desencadenante de ambos tipos de erosión. La hídrica al iniciar la estación de lluvias, particularmente si son torrenciales y la topografía es accidentada; y la eólica en época del año con alta incidencia de ráfagas de viento y baja humedad ambiental (FAO, 2011).

Díaz (2011) indica que la erosión, hídrica, eólica y su combinación, genera un círculo vicioso que permite el avance de la misma. La erosión, reduce la capacidad del suelo para retener humedad, provoca la pérdida de materia orgánica y nutrientes, condiciones edáficas que limitan el desarrollo de la cobertura vegetal y el potencial de dicha cobertura para proteger al suelo contra la erosión. Concluyendo que se deben procurar coberturas vegetales conformadas por especies que puedan prosperar bajo dichas condiciones edáficas.

Brunel y Seguel (2011) indican que agregar fertilizantes para enmendar la pérdida de nutrientes por erosión, puede elevar el costo de producción sin resolver el problema de la erosión, concluyendo que enmendar la fertilidad de un suelo erosionado no debe limitarse a solamente agregar fertilizantes. Cotler *et al.* (2011) también señalan que enmendar la baja fertilidad de un suelo erosionado con fertilizantes incrementa el costo de producción sin resolver el problema de la erosión de no integrarse otros manejos del suelo encaminados a reducir la erosión como lo es mantener el suelo protegido por un dosel vegetal.

Una opción para mantener un suelo agrícola con cubierta vegetal, y así mantener o recuperar la salud del mismo, es incorporar durante el periodo en que el cultivo agrícola no está en campo un cultivo de cobertura (Dlamini, *et al.*, 2011; Weil y Brady, 2017). Un manejo del cultivo de cobertura es que poco antes de la siembra del cultivo agrícola, incorporar al suelo toda la biomasa aérea acumulada por el cultivo de cobertura (Kaspar y Singer, 2011).

Dabney *et al.* (2001) señalan como apropiado la integración de un cultivo de cobertura contra la erosión hídrica y eólica; sin embargo, en la implantación de esta práctica debe procurarse dar respuesta a los costos adicionales por establecimiento e incorporación al suelo, descomposición rápida e integral del tejido vegetal del cultivo de cobertura y

control del crecimiento de la biomasa aérea para reducir el riesgo de convertirse en vector de plagas y enfermedades hacia el cultivo agrícola.

Dapaah y Vyn (1998) luego de evaluar diferentes especies, recomiendan usar gramíneas o leguminosas forrajeras anuales como cultivos de cobertura, ya que además de cumplir con cubrir el suelo proveen de forraje con el que se puede cubrir total o parcialmente el costo adicional del establecimiento, se reduce la cantidad de biomasa vegetal a incorporar al suelo y las heces se descomponen más rápido que el tejido vegetal. Las leguminosas enriquecen el suelo con nitrógeno proveniente de la atmósfera. Entre las especies recomendadas están: *rye grass* anual (*Lolium multiflorum* L.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.).

Para que una forrajera anual funcione como cultivo de cobertura se le debe permitir que acumule biomasa aérea y subterránea suficientes para la protección y mejora de la salud del suelo, esto puede implicar una cosecha tardía con detrimento en la calidad del forraje obtenido (Hanson, 2015; Sanderson, *et al.*, 2004).

### **Doseles forrajeros y su influencia sobre aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo**

Las leguminosas a través de la fijación simbiótica de nitrógeno son una entrada de nitrógeno al suelo y mejorar la salud del mismo. Las leguminosas forrajeras perennes y anuales, muestran un periodo de crecimiento largo y las perennes se mantienen activas por varios ciclos contiguos. Fegeria *et al.* (2005) hicieron un seguimiento de publicaciones científicas con registros de la cantidad de nitrógeno fijado, con leguminosas anuales el intervalo fue de 20 a 50 y con perennes de 170 a 222 kg de N ha<sup>-1</sup>, concluyeron que este último grupo son una opción para incrementar o restaurar el contenido de nitrógeno de un suelo. Carlsson y Huss-Danell (2003) coinciden en la importancia de incorporar leguminosas forrajeras perennes para fomentar mayor concentración de nitrógeno en el suelo.

La integración de leguminosas forrajeras perennes a la producción de forrajes no solo se basa sobre la capacidad de éstas para incorporar nitrógeno al suelo. *Leucaena leucocephala* asociada con gramíneas forrajeras ocasionó mayor acumulación de carbono orgánico en el suelo en comparación al dosel de gramíneas solamente (Radrizzani *et al.*, 2011). Macharia *et al.* (2011) también registraron un incremento en carbono orgánico del

suelo al integrar leguminosas perennes como glycine (*Neonotonia wightii*), siratro (*Macroptilium atropurpureum*) y stylo (*Stylosanthes scabra* var. Seca).

La formación de agregados en el suelo lo hacen resistir a los factores erosivos y conservar la humedad (Bronick y Lal, 2005; Torres-Guerrero *et al.*, 2013). Las raíces activas a través de exudados promueven la formación de agregados. Un suelo con dosel forestal registró mayor cantidad de agregados que con un dosel de cultivos agrícolas (Lawal *et al.*, 2009). Gichangi *et al.* (2016) encontraron que el dosel forrajero de *Brachiaria*, *Chloris gayana* y *Pennisetum purpureum* originó mayor cantidad de macro-agregados que un dosel de corta duración. La combinación de un dosel forrajero de gramíneas y leguminosas herbáceas con árboles aumenta la formación de agregados (Ramos *et al.*, 2003).

Un suelo compactado reduce la productividad de los cultivos agrícolas al limitar el desarrollo de la masa radical para obtener minerales y humedad (Batey, 2009). Algunas forrajeras desarrollan masas radicales que perforan capas de suelo compactado, Williams y Weil (2004) encontraron el subsuelo con pequeños túneles hechos por la masa radical de rábano forrajero (*Raphanus sativus* L.) y canola (*Brassica rapa* L.) posteriormente las masas radicales de cultivos en rotación ocuparon estos túneles. Chen y Weil (2011) confirman que la masa radical del rábano forrajero forma pequeños túneles en el subsuelo.

Fleo y festuca asociadas con alfalfa mostraron mayores masa radical y profundidad de exploración, en comparación a crecer solas, la raíz de alfalfa perforó el suelo facilitando el mayor desarrollo de las raíces de las gramíneas (Houde, *et al.*, 2020). Alfalfa por su raíz pivotante y mantenerse por cinco o más años de forma continua sobre el suelo originaron un suelo con mayor porosidad sin capas compactadas, concentración de nitrógeno, carbón orgánico y masa microbiana que el suelo con vegetación espontánea, por lo que se concluyó que forrajes como alfalfa son una buena opción para lograr la conservación y rehabilitación de la salud del suelo (Song *et al.*, 2021).

Fisher *et al.* (2007) luego de revisar varias investigaciones concluyeron que los beneficios de un dosel de gramíneas tropicales en promover una acumulación alta de carbono orgánico en el suelo y sus impactos positivos sobre la salud de un suelo ácido es medular implantar esquemas de aprovechamiento que permitan al dosel expresar su máxima capacidad de acumular biomasa aérea.

En condiciones áridas y semiáridas, Celaya-Michel y Castellanos-Villegas (2011) concluyeron que un dosel de gramíneas adaptadas al medio con leguminosas leñosas (árboles y arbustos) generaba *islas de fertilidad* consistentes en un suelo con mayor presencia y funcionamiento de microorganismos originando una rápida descomposición de la materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para el resto de la vegetación. Doseles de gramíneas forrajeras que permiten su combinación con otras especies no necesariamente forrajeras fomentan una actividad microbiana favorable a la salud de un suelo.

Curry (1987) señaló que la biología (invertebrados) del suelo era medular en la descomposición de materia orgánica y la fertilidad del suelo. Posteriormente, Lagos *et al.* (2020) y Madegwa y Uchida (2021) coinciden al enfatizar el papel de una biología robusta y vigorosa del suelo en la descomposición de la materia orgánica y ciclaje de nutrientes. Socarrás e Izquierdo (2014) y Socarrás-Rivero, (2018) registraron mayor población de microorganismos en suelos con dosel forrajero herbáceo o combinado *Leucaena leucocephala*-gramíneas que en suelos con cultivos agrícolas. El dosel *Glyricidia-Albizia-Morus alba* fomentó la densidad y diversidad de invertebrados del suelo, especialmente a través del follaje depositado sobre el suelo lo que a su vez originó mayor integración de nutrientes al terreno en comparación a un suelo con vegetación espontánea (Sánchez y Reyes, 2003).

Ayarzaa *et al.*, (2022) señalan que el efecto positivo del dosel forrajero sobre aspectos físicos y biológicos del suelo se suma a la presencia de animales que se alimentan del forraje y a través de las excretas aceleran o magnifican el efecto del dosel forrajero sobre el contenido y descomposición de la materia orgánica.

Espinosa-Carvajal *et al.* (2020) registraron que un dosel forrajero manejado para acumular biomasa aérea y radical conformado por *Brachiaria humidicola* y *Panicum maximum* (hoy *Megathyrsus maximus*) se comportaron como sumideros de metano durante la mayor parte del año al permitir flujos de este compuesto dentro del perfil del suelo, concluyendo que la cubierta forrajera permitió que el suelo tuviera también una función ecosistémica.

## **Conclusión**

Los doseles forrajeros anuales y perennes, herbáceos y leñosos son alternativas de cubiertas del suelo que pueden conservar, mejorar y rehabilitar la salud del suelo, por lo

que en la planificación del aprovechamiento de los doseles forrajeros debe incluirse el impacto positivo que pueden tener sobre aspectos que conforman la salud del suelo y no solamente como fuentes de forraje para alimentar animales.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado al primer autor durante sus estudios de Maestría en Ciencias.

### **LITERATURA CITADA**

- Ayarzaa, M., I. Rao, L. Vilela, C. Lascano, and R. Vera-Infanzón. 2022. Soil carbon accumulation in crop-livestock systems in acid soil savannas of South America: A review. *Advances in Agronomy*, 173: 163-226. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.02.003>
- Batey, T. 2009. Soil compaction and soil management-a review. *Soil Use and Management*, 25: 335-345. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>
- Bronick, C., and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Brunel, N., and O. Seguel. 2011. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur*, 39: 1-12. <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v39n1/art01.pdf>
- Camas G., R., A. T. Fernández, J. Isabel, C. Flores, M. M. Livera, A. González, B. V. Sánchez, J. López Martínez, E. Paz, and P. Cadena Iñiguez. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 231-243. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200002)
- Carlsson, G., and K. Huss-Danell. 2003. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil*, 253: 353-372. <https://doi.org/10.1023/A:1024847017371>
- Celaya-Michel, H., and A. E. Castellanos-Villegas. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29: 343-356. <https://dagus.unison.mx/publicaciones/indexadas/Terra%20Hernan%20Mineralizacion%20Ensayo.pdf>
- Cerdan, O., G. Govers, Y. Le Bissonnais, K. Van Oost, J. Poesen, N. Saby, A. Gobin, A. Vacca, J. Quinton, K. Auerswald, A. Klik, F. J. P. M. Kwaad, D. Raclot, I. Ionita, J. Rejman, S. Rousseva, T. Muxart, M. J. Roxo, and T. Dostal. 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122: 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.06.011>
- Chen, G., and R.R. Weil. 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil and Tillage Research*, 117: 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.08.001>
- Clarke, M.L., and H. M. Rendell. 2006. Process-form relationships in southern Italian badlands: erosion rates and implications for landform evolution. *Earth Surface Processes Landforms*, 31: 15-29. <https://doi.org/10.1002/esp.1226>

- Colazo, J. C., and D. E. Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 159: 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.07.016>
- CONAFOR. 2018. Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras prácticas. CONAFOR. Zapopan, Jalisco, México. 296 pp. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>
- CONAFOR-UACH. 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. CONAFOR y UACH. Zapopan, Jalisco, México. 80 pp. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31169/degradacion-tierras-desertificacion2\\_PARTE\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31169/degradacion-tierras-desertificacion2_PARTE_1.pdf)
- Cotler, H., López, C. A., and S. Martínez-Trinidad. 2011. ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental*, 3: 31-43. <https://remexcu.org/documentos/boletines/DS-2018-04-%20Cotler.pdf>
- Curry, J. P. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. III. Effects on soil fertility and plant growth. *Grass and Forage Science*, 42: 325-341. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1987.tb02121.x>
- Dabney, S. M., J. A. Delgado, and D. W. Reeves. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1221-1250. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104110>
- Dapaah, H. K., and T. J. Vyn. 1998. Nitrogen fertilization and cover crop effects on soil structural stability and corn performance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29: 2557-2569. <https://doi.org/10.1080/00103629809370134>
- Díaz M., C. 2011. Alternatives for erosion control by using conventional coverage, non-conventional coverage and revegetation. *Ingeniería e Investigación*, 31: 80-90. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeninv/article/view/26390>
- Dlamini, P., C. Orchard, G. Jewitt, S. Lorentz, L. Titshall, and V. Chaplot. 2011. Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the sloping lands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agricultural Water Management*, 98: 1711-1718. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.016>
- Espinosa-Carvajal, M., J. L. Contreras-Santos, J. Cadena-Torres, J. C. Martínez-Atencia, C. I. Jaramillo-Barrios, and M. P. Hurtado. 2020. Methane fluxes in soils with pasture covers in the North of Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31: 291-309. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/38387>
- FAO. 2011. Land degradation and SLM typologies. En A. Woodfine (Ed.). *Land degradation assessment in drylands*. FAO, Roma, Italia. pp. 31-43. [https://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/kagera/Documents/LADA\\_manuals/part1\\_b.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/kagera/Documents/LADA_manuals/part1_b.pdf)
- FAO. 2015. Global soil status, processes and trends. En FAO (Ed.) *Status of the World's Soil Resources-Main report*. Roma, Italia. pp 100-167. ISBN: 9789251090046
- FAO. 2021. Degradación del suelo. Portal de suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, and B. A. Bailey. 2005. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 2733-2757. <https://doi.org/10.1080/00103620500303939>
- Fisher, M.J., S. P. Braz, R. S. M. Dos Santos, S. Urquiaga, B. J. R. Alves, & R. M. Boddey. (2007). Another dimension to grazing systems: Soil carbón. *Tropical Grasslands* 41, 65-83. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/43186>

- Gichangi, E. M., D. M. G. Njarui, S. R. Ghimire, M. Gatheru, and K. W. N. Magiroi. 2016. Effects of cultivated brachiariagrasses on soil aggregation and stability in the semi-arid tropics of Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19: 205–217. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2211/1023>
- Gómez, A., S. Schnabel, and F. Lavado. 2011. Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 55: 59–80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3606511>
- González, M. A. B., F. P. Pellat, C. O. C. Gaistardo, J. A. A. Espinoza, V. M. Romero, and J. C. De la Cruz. 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana*, 34: 271–288. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000300271&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000300271&script=sci_abstract&tlng=es)
- Hanson, A. A. 2015. The Importance of Forages to Agriculture. *Forage Fertilization*, 1974: 1–16. <https://doi.org/10.2134/1974.foragefertilization.c1>
- Houde, S., M. N. Thivierge, F. Fort, G. Bélanger, M. H. Chantigny, D. Angers, and A. Vanasse. 2020. Root growth and turnover in perennial forages as affected by management systems and soil depth. *Plant Soil* 451, 371–387. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04532-1>
- Jiao, J., H. Zou, Y. Jia, and N. Wang. 2009. Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 29: 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2009.05.001>
- Kaspar, T., and J. Singer. 2011. The use of cover crops to manage soil. En J.L. Hatfield, T. J. Suer (Eds.) *Soil management: building a stable base for agriculture*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Estados Unidos. pp. 321–338. <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c21>
- Lagos B., T. C., W. Ballesteros Possu, and W. L. Delgado Gualmatan. 2020. Diversidad de la edafofauna de suelos cafeteros del sur de Colombia. *Temas Agrarios*, 25(2), 117–128. <https://doi.org/10.21897/rta.v25i2.2439>
- Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development*, 12: 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, 116, 353–362. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00211-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00211-1)
- Lal, R. 2020a. Managing Soil Carbon for Food and Climate. Presented at the US-UK Scientific Forum on Sustainable Agriculture with National Academy of Sciences (NAS), Washington, D.C., USA. 5 March 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=uL5OIhgxWc>
- Lal, R. (2020b). Soil Erosion and Gaseous Emissions. *Applied Sciences*, 10(8), 2784. <https://doi.org/10.3390/app10082784>
- Lawal, H. M., J. O. Ogunwale, and E. O. Uyovbisere. 2009. Changes in soil aggregate stability and carbon sequestration mediated by land use practices in a degraded dry savanna alfisol. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10: 423–429. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/153/162>
- Li, J., G. S. Okin, L. Alvarez, and H. Epstein. 2007. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry*, 85: 317–332. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9142-y>
- Lucía, A., F. Vicente, C. Martín-Moreno, J. F. Martín-Duque, M. A. Sanz, C. De Andrés, and J. M. Bodoque. 2008. Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedmont norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España).

- Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica), 102: 47-69. ISSN 0583-7510. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/20416/>
- Macharia, P. N., C. K. K. Gachene, J. G. Mureithi, J. I. Kinyamario, W. N. Ekaya, and E. G. Thurania. 2011. The effect of introduced forage legumes on improvement of soil fertility in natural pastures of semi-arid rangelands of kajiado district, kenya. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14: 221–227. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/555/521>
- Madegwa, Y. M., and Y. Uchida. 2021. Land use and season drive changes in soil microbial communities and related functions in agricultural soils. *Environmental DNA*, 3: 1214-1228. <https://doi.org/10.1002/edn3.244>
- Martínez-Casasnovas, J. A., M. C. Ramos, and D. García-Hernández. 2009. Effects of land use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedés region (Northeast Spain). *Earth Surface Processes Landforms*, 34:1927-1937. <https://doi.org/10.1002/esp.1870>
- Moebius-Clune, B. N., D. J. Moebius-Clune, B. K. Gugino, O. J. Idowu, R. R. Schindelbeck, A. J. Ristow, H. M. Van Es, J. E. Thies, H. A. Shayler, M. B. McBride, K. S. M. Kurtz, D. W. Wolfe, and G. S. Abawi. 2016. *Comprehensive Assessment of Soil Health-The Cornell Framework*, Edition 3.2, Cornell University, Geneva, NY. ISBN 0-967-6507-6-3. <http://www.css.cornell.edu/extension/soil-health/manual.pdf>
- Naderizadeha, Z., H. Khademia, and J. M. Arocena. 2010. Organic matter induced mineralogical changes in clay-sized phlogopite and muscovite in alfalfa rhizosphere. *Geoderma* 159: 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.08.003>
- National Resources Conservation Service (NRCS). 2021. What is soil? Soil health. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/soils/health/>
- Oliveira, R. A. D., G. Brunetto, A. Loss, L. C. Gatiboni, C. Kürtz, J. V. Müller, P. E. Lovato, B. S. Oliveira, M. Souza and J. J. Comin. 2016. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40: 1–17. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150099>
- Peters, M., I. Rao, M. Fisher, G. Subbarao, S. Martens, M. Herrero, R. Hoek, R. Schultze-kraft, J. Miles, A. Castro, S. Graefe, T. Tiemann, M. Ayarza, and G. Hyman. 2012. Tropical Forage-based Systems to Mitigate Greenhouse Gas Emissions. En C. H. Hershey, P. Neate (Eds.), *Eco-Efficiency: from vision to reality*. CIAT Cali, Colombia. pp. 171–190. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/17234>
- Radrizzani, A., H. M. Shelton, S. A. Dalzell, and G. Kirchhof. 2011. Soil organic carbon and total nitrogen under *Leucaena leucocephala* pastures in Queensland. *Crop and Pasture Science*, 62: 337–345. <https://doi.org/10.1071/CP10115>
- Ramos S., R., G. Martínez, R. Macchiavelli, J. E. Rodríguez, and J. L. Guzmán. 2003. Potential of Trees, Grasses, and Turf Legumes for Restoring Eroded Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 2149–2162. <https://doi.org/10.1081/CSS-120024054>
- Rivera, J.H., J. A. Sinisterra, and Z. Calle. 2007. Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. Fundación CIVAP. <https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2019/06/RESTAURACION-CARCAVA-Dagua.pdf>
- Rojas, J. M., D. E. Buschiazzi, and O. Arce. 2013. Parámetros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del Chaco. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 31: 133-142. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672013000100013](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672013000100013)
- Sánchez, S., and F. Reyes. 2003. Estudio de la macrofauna edáfica en una asociación de

- Morus alba y leguminosas arbóreas. Pastos y Forrajes, 26. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=811>
- Sanderson, M. A., G. E. Brink, K. F. Higgins, and D. E. Naugle. 2004. Alternative uses of warm-season forage grasses. En L. E. Moser, B. L. Burson, L. E. Sollenberger (Eds.). Warm-Season (C4) Grasses, Volume 45, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Estados Unidos. pp. 389–416. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr45.c11>
- SEMARNAT and CP. 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana. Escala 1:250000. Memoria Nacional. SEMARNAT y CP. México. 2003. 69 pp. [https://www.researchgate.net/publication/307967321\\_SEMARNAT-CP\\_2003\\_Memoria\\_Nacional\\_2001-2002\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Degradacion\\_del\\_Suelo\\_causada\\_por\\_el\\_Hombre\\_en\\_la\\_Republica\\_Mexicana\\_escala\\_1250000\\_Memoria\\_Nacional](https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional)
- Socarrás-Rivero, A. A. 2018. Diversidad de la mesofauna edáfica en tres usos del suelo en la provincia Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes, 41: 123–130. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942018000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000200006)
- Socarrás, A., and I. Izquierdo. 2014. Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. Pastos y Forrajes, 37: 47-54. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1782>
- Song, X., C. Fang, Z. Q. Yuan, & F. M. Li. 2021. Long-Term Growth of Alfalfa Increased Soil Organic Matter Accumulation and Nutrient Mineralization in a Semi-Arid Environment. Frontiers in Environmental Science. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.649346>
- Thomas, J.T., N. R. Iverson, M. R. Burkart, and L. A. Kramer. 2004. Long-term growth of a valley-bottom gully, western Iowa. Earth Surface Processes and Landforms, 29: 995- 1009. <https://doi.org/10.1002/esp.1084>
- Torres-Guerrero, C. A., B. J. D. Etchevers, M. H. Fuentes-Ponce, B. Govaerts, F. De León-González, and J. M. Herrera. 2013. Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. Terra Latinoamericana, 31: 71–84. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1036>
- Vicente, F., M. A. Sanz, A. Lucía, & J. F. Martín-Duque. 2009. Evolución geomorfológica en tiempos históricos recientes de cárcavas del borde del piedemonte norte del Guadarrama (Segovia, España): Estudio a partir de fuentes documentales. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica, 103(1-4): 49-64. ISSN 0583-7510. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/20442/>
- Wall, D. H., V. Behan-Pelletier, K. Ritz, J. E. Herrick, T. H. Jones, and J. Six. 2012. Soil Ecology and Ecosystem Services. Oxford: Oxford University Press.UK. ISBN-13: 9780199575923. <https://oxford.universitypressscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780199575923.001.0001/acprof-9780199575923>
- Weil, R. R., and N. C. Brady. 2017. Prospects for Soil Health in the Anthropocene. En: R. R. Weil, N. C. Brady (Ed.). The Nature and Properties of Soils. Pearson, Upper Saddle River, NJ. pp. 982-1040. [https://www.researchgate.net/publication/233861653\\_Prospects\\_for\\_Global\\_Soil\\_](https://www.researchgate.net/publication/233861653_Prospects_for_Global_Soil_)

Quality\_as\_Affected\_by\_Human\_Activities

- Williams, S. M., and R. R. Weil. 2004. Crop Cover Root Channels May Alleviate Soil Compaction Effects on Soybean Crop. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1403–1409. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1403>
- Yue, L., J. Juying, T. Bingzhe, C. Binting, and L. Hang. 2020. Response of runoff and soil erosion to erosive rainstorm events and vegetation restoration on abandoned slope farmland in the Loess Plateau region, China. *Journal of Hydrology*, 584: 124694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124694>

### CAPÍTULO 3. AGRONOMÍA DE *Panicum virgatum* L.

Jesús Adán Martínez-Zaragoza<sup>1</sup>, Pedro Arturo Martínez-Hernández<sup>1</sup><sup>✉</sup>, José Luis Zaragoza-Ramírez<sup>1</sup>, Enrique Cortés-Díaz<sup>1</sup>

#### Resumen

*Panicum virgatum* L, es una gramínea nativa de Norteamérica forrajera, protectora del suelo o bio-combustible, por lo que conviene saber algunos de sus atributos agronómicos para aplicar el mejor manejo en zonas de adaptación. El objetivo fue analizar las respuestas de *Panicum virgatum* L a prácticas agronómicas y formar una línea base para la toma de decisiones. El desarrollo incorpora una descripción botánica y agronómica, resaltando la capacidad para formar una extensa masa radical que favorece la biología del suelo. La calidad del forraje es pobre a mediana, su fortaleza forrajera es el alto rendimiento y respuesta al nitrógeno agregado. Lo más común es dar un máximo de dos cosechas para obtener los rendimientos más altos. La conclusión fue que es una especie versátil en usos con alta capacidad para altos rendimientos y conviene seguir investigando esta especie como forrajera, protectora del suelo y bio-energía.

Palabras claves: frecuencia de corte, respuesta a nitrógeno, rendimiento máximo, calidad de forraje, switchgrass

<sup>1</sup>Posgrado en Producción Animal, <sup>2</sup>Centro Regional Universitario del Anáhuac, Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP 56230. Tel 595952121 ([jamzmzz96@gmail.com](mailto:jamzmzz96@gmail.com), [pedroarturo@correo.chapingo.mx](mailto:pedroarturo@correo.chapingo.mx), [jzaragozar@chapingo.mx](mailto:jzaragozar@chapingo.mx), [ecodia@yahoo.com.mx](mailto:ecodia@yahoo.com.mx) )

<sup>✉</sup>Autor para correspondencia: Pedro Arturo Martínez-Hernández, [pedroarturo@correo.chapingo.mx](mailto:pedroarturo@correo.chapingo.mx)

## **Abstract**

*Panicum virgatum* L is a North American native grass that provides forage, soil protection and bio-energy crop, then is convenient to know some agronomic attributes to apply the best management in adaptation zones. The objective was to analyze *Panicum virgatum* L responses to agronomic managements to build a base line decision. In the text there is a botanical and agronomic description of the species, pointing out the capacity to build a massive root mass that promotes soil biology. Forage quality is poor to medium, its strong point is forage yield and high response to added nitrogen. More frequent management is to apply two harvests per year to achieve maximum yearly yield. Conclusion was that this species is of many uses with capacity to provide high forage yield then is convenient to keep doing research on this species as forage source, soil protector and bio-energy crop.

Key words: cutting frequency, nitrogen response, maximum yield, forage quality, switchgrass.

## **Introducción**

*Panicum virgatum* es un pasto perenne originario de Norteamérica, donde se desarrolla naturalmente desde los 20 a 55° de latitud N, además de usarse como fuente de forraje, se ha recomendado como una especie para la conservación de suelo y de forma más reciente para la elaboración de bio-combustible (Elbersen et al., 2001; USDA-NRCS, 2001). Hartman, Nippert, Orozco y Springer (2011) agregan que es una especie adecuada para dar alimento y refugio a fauna silvestre y por su gran capacidad de acumular biomasa en tiempo relativamente corto se torna en una especie valiosa para capturar carbono en materia orgánica.

Esta especie, por tanto, se ha considerado como una de gran versatilidad de uso y de ahí su importancia agronómica.

El objetivo del artículo de revisión es analizar resultados de investigaciones de campo sobre aspectos agronómicos de *Panicum virgatum* L. publicados en revistas científicas especializadas para generar un banco de información validada que abone a la toma de decisiones sobre esta especie.

### **Descripción botánica y agronómica**

*Panicum virgatum* L. tiene como nombre común 'Switchgrass' en Estados Unidos (USDA-NRC, 2001), pertenece a la taxa *Paniceae*, con una altura de 0.5 a 3 m según sea el ecotipo, la inflorescencia es una panícula difusa de 15 a 55 cm de largo con espiguillas hacia el final de las ramas largas, que miden de 3 a 5 mm de largo, las hojas tienen vainas redondeadas y láminas firmes y planas que varían de 10 a 60 cm de longitud. El número de hojas varía según ecotipo y el medio ambiente, la lígula es una membrana con flecos de 1.5 a 3.5 mm de largo y se compone principalmente de pelos., la raíz puede penetrar hasta una profundidad de 3 m dentro del perfil de suelo (Casler, Mitchell & Vogel, 2012; Vogel, 2004; Vogel, Saathoff & Mitchell, 2010).

Samson, Delaquis, Deen, Debruyn y Eggimannn (2016) señalan que hay dos grandes grupos de ecotipos: los norteños y los sureños. Los ecotipos norteños se adaptan a condiciones secas y frías, muestran profusa producción de semilla y son de rápido establecimiento. Los ecotipos sureños, prosperan en condición de altas humedad y temperatura, son de mayor talla y sus tallos son gruesos, por lo que es común que superen a los ecotipos norteños en rendimiento de biomasa aérea, pero con establecimiento más lento.

Parrish y Fike (2005) indican que *P. virgatum* es una gramínea C4, por lo que es clasificada como especie de estación cálida, con rendimientos anuales de biomasa aérea de 15 t ha<sup>-1</sup> anuales o superiores. Feng et al. (2017) indican que *P. virgatum* prospera en suelos degradados, lo que aumenta las posibilidades de uso de este tipo de suelos, sin embargo, requiere de prácticas agronómicas adecuadas para permitirle expresar su potencial de rendimiento. También es tolerante a extremos en el contenido de humedad del suelo, desde suelos con alto contenido de humedad a suelos secos (Barney et al., 2009).

La masa radical de *P. virgatum* es muy extensa en su exploración del perfil del suelo y también fomenta la biología del suelo, en particular se ha registrado una simbiosis con micorrizas arbusculares, por medio de esta simbiosis logra una mayor efectividad en obtener los minerales y humedad del suelo, lo que se refleja en su capacidad de acumular una gran biomasa aérea y subterránea y una longeva persistencia, una vez con esta masa radical extensa puede tolerar años secos sin mostrar gran mortandad de individuos (Casler, Mitchell & Vogel, 2012).

La extensa masa radical de esta especie le permite hacerse de minerales que por lixiviación se han ido a capas más profundas del perfil del suelo y traerlos de nuevo hacia la superficie para influir positivamente en el reciclaje de estos. Con base en esta capacidad de exploración del perfil del suelo, se le recomienda para ser incluida en protocolos de bio-remediación de suelos (Ma, Wood & Bransby, 2000).

### **Calidad del forraje**

Samson et al. (2016) registraron que el forraje de *P. virgatum* comúnmente presenta concentraciones de bajas a moderadas de proteína cruda y materia

digestible, por lo que el nivel de consumo del forraje y la ganancia diaria de peso que logran los animales alimentados con este forraje son también de bajos a moderados. Concluyen que *P. virgatum* no provee de forraje de alta calidad para fomentar altos niveles de producción animal; sin embargo, su fortaleza es rendir grandes cantidades de forraje, para mantener un mayor número de animales.

Mitchell, Lee y Casler (2014) registraron, como ocurre con otras especies forrajeras, que la calidad del forraje de *P. virgatum* varía con el avance en el estado de desarrollo y madurez del individuo. Las concentraciones en la biomasa aérea de *P. virgatum* de cuatro de siete minerales medidos, la concentración general de minerales y la de proteína cruda mostraron una fuerte reducción al transitar la planta del estado de hoja bandera al de senescencia (Cuadro 1). El contenido general de minerales y el de proteína se redujeron en 36 y 54% con el avance del estado de madurez.

Cuadro 1. Concentración mineral y de proteína cruda (PC) en biomasa aérea de *Panicum virgatum* a diferente estado de desarrollo<sup>2</sup>

| Estado de desarrollo | Composición (g kg <sup>-1</sup> ) |       |      |       |      |      |      |     |    |
|----------------------|-----------------------------------|-------|------|-------|------|------|------|-----|----|
|                      | Ca                                | K     | P    | Si    | Cl   | Mg   | S    | Ash | PC |
| Hoja bandera         | 3.64                              | 21.64 | 2.17 | 52.10 | 0.68 | 2.22 | 1.32 | 89  | 65 |
| Floración            | 2.80                              | 10.20 | 3.43 | 34.57 | 0.21 | 1.62 | 0.63 | 57  | 32 |
| Senescencia          | 3.90                              | 8.44  | 4.23 | 40.45 | 0.14 | 2.37 | 0.63 | 57  | 30 |

<sup>2</sup>Todos los valores son reportados en base seca. Tomada de Mitchell et al. (2014).

Luginbuhl, Pond, Burns y Fisher (2000) encontraron que el forraje de *P. virgatum* ensilado superó al henificado en digestibilidad y consumo (Cuadro 2), sin embargo, el forraje ensilado implica el acarreo de mucha agua lo que podría aumentar el costo de producción.

Cuadro 2. Calidad del forraje y consumo de *P. virgatum* conservado como heno o ensilado

| Características, %             | Método de conservación |          |
|--------------------------------|------------------------|----------|
|                                | Heno                   | Ensilado |
| MS                             | 94.6                   | 27.2     |
| FDN <sup>1</sup> , % de MS     | 74                     | 71.4     |
| FDA <sup>2</sup> , % de MS     | 37.9                   | 39.2     |
| Hemicelulosa, % de MS          | 36.1                   | 32.2     |
| Celulosa, % de MS              | 32.2                   | 33.4     |
| Lignina, % de MS               | 4.9                    | 5        |
| PC <sup>3</sup> , % de MS      | 7                      | 5.8      |
| DIVMS <sup>4</sup> , % de MS   | 52.9                   | 57.5     |
| Consumo MS, kg d <sup>-1</sup> | 5.3                    | 6.2      |

<sup>1</sup>Fibra detergente neutro, <sup>2</sup>Fibra detergente ácido, <sup>3</sup>Proteína cruda,

<sup>4</sup>Digestibilidad *in vitro* de materia seca. Tomado de Luginbuhl et al., 2000.

### Rendimiento de forraje

Fecha y número de cortes dentro del ciclo, condiciones edáficas y climáticas, así como, la variedad, influyen sobre el rendimiento de *P. virgatum* por lo que se deben validar para cada sitio los manejos agronómicos posibles para el

aprovechamiento de esta especie y lograr los rendimientos máximos posibles (Casler & Boe, 2003).

Brejda, Brown, Wyman y Schumacher (1994) proponen como manejo de fecha de corte de *P. virgatum* lo que se considera como objetivo prioritario, si se busca forraje con la mayor concentración posible de nutrimentos es conveniente cosechar a finales de la primavera; pero, si lo prioritario es alcanzar una cantidad máxima de forraje deberá esperarse hasta final del verano cuando la planta haya alcanzado su máximo desarrollo.

Burns, Pond, Fisher y Luginbuhl (1997) coinciden en señalar que el momento de cosecha de *P. virgatum* debe basarse en lo que la empresa ganadera demanda, forraje de calidad o gran cantidad de forraje, esto debido que en *P. virgatum*, como lo es en otras especies, conforme se avanza en el ciclo de crecimiento hay más forraje, pero de menor calidad. Concluyen que la calidad del forraje de *P. virgatum* siempre es moderada en comparación con otras forrajeras, por lo que debería considerarse fechas tardías de cosecha, para producir mucho forraje encaminado al mantenimiento de un número alto de animales adultos.

Kering et al. (2013) para lugares de estación larga de crecimiento donde *P. virgatum* logra dos crecimientos vigorosos, recomiendan dos cosechas, una primera al final de la primavera/inicio del verano, y la segunda al inicio del invierno. La calidad del forraje de la primera cosecha permite lograr un buen heno, el de la segunda posiblemente solo sirva para mantenimiento de un animal adulto. Advierten la necesidad de un buen manejo de la fertilidad del suelo, especialmente del nitrógeno, para asegurar una tasa máxima de acumulación de forraje en ambas cosechas, y sostener altos rendimientos a través de los años.

La decisión de cuándo y cuántas veces cosechar *P. virgatum*, debe basarse en lo que se espera obtener de la biomasa aérea y mantener el balance de los nutrientes del suelo, Liu, Fike, Galbraith y Fike (2014) encontraron que para lograr a través de los años un máximo rendimiento calculado de etanol, *P. virgatum* debía someterse a una cosecha al año con aplicación de fertilización química o biosólidos en cantidad suficiente para compensar por los minerales extraídos, principalmente nitrógeno, en la biomasa cosechada y así mantener el rendimiento.

Reynolds, Walker y Kirchner (2000) enfatizan que, bajo cualquier esquema de cosecha, *P. virgatum* muestra rendimientos altos de biomasa, lo que obliga a calcular la cantidad de minerales, principalmente nitrógeno, removida en el forraje cosechado, y con base en este cálculo, planificar las enmiendas pertinentes. Alexopoulou et al. (2018) se adhieren a planificar enmiendas por las cantidades de minerales extraídas en el forraje, pero afirman que la magnitud de extracción es mucho menor a la registrada en cereales por lo que *P. virgatum* es una opción para lograr cosechar una cantidad alta de biomasa aérea a partir de suelos de fertilidad baja a moderada.

Guretzky, Biermacher, Cook, Mering y Mosali (2011) indican que *P. virgatum* muestra una respuesta alta al nitrógeno adicional, sin embargo, el esquema de cosecha debe permitirle el máximo uso del nitrógeno agregado, para lograr simultáneamente, recuperar en la biomasa cosechada la mayor parte del nitrógeno agregado y evitar acumulaciones de nitrógeno en otros nichos originando desbalances e impactos negativos. Ashworth, et al. (2020) encontraron que *P. virgatum* crecido en un suelo erosionado y sujeto a dos cortes al año, alcanzó rendimiento y eficiencia máximas al agregar 252 kg N ha<sup>-1</sup> a

mayor dosis la cantidad de nitrógeno no recuperada en el forraje significó un riesgo alto de impacto negativo sobre el ambiente.

Emery, Stahlheber y Gross (2020) advierten que en un mismo sitio la humedad disponible en suelo determina la dosis a la que *P. virgatum* muestra la eficiencia máxima del uso del nitrógeno, en años muy secos, varias dosis de nitrógeno agregado no promovieron mayor rendimiento y la eficiencia máxima se registró a dosis bajas; en años húmedos, con alta respuesta al nitrógeno en rendimiento adicional, la eficiencia máxima se registró a dosis mayores de nitrógeno agregado. Concluyendo sobre la necesidad de dar seguimiento a través de diferentes ciclos a la respuesta en eficiencia a la adición de nitrógeno.

Wayman, Bowden y Mitchell (2014) encontraron que *P. virgatum* con formación activa de vástagos y nuevas hojas y tallos, concentró el nitrógeno en la biomasa aérea, conforme avanzó la estación de crecimiento, y la formación de vástagos y nuevas hojas y tallos fue muy pobre o nula, el nitrógeno se concentró en la masa radical. A partir de este seguimiento del nitrógeno dentro de la planta y si este mineral se agrega una vez al inicio del ciclo de crecimiento, recomiendan una cosecha al año para alcanzar una eficiencia máxima a dosis altas de nitrógeno agregado.

## **Conclusión**

*Panicum virgatum*, es una gramínea de uso versátil: alimento para el ganado, componente en protocolos de conservación y rehabilitación de suelos y cultivo bioenergético. La principal fortaleza agronómica es acumular una cantidad alta de biomasa aérea y radical a partir de suelos degradados. Conviene mantener la investigación de esta especie para validar su respuesta a diferentes manejos

agronómicos y su impacto para la rehabilitación física y biológica de suelos degradados.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado al primer autor durante sus estudios de Maestría en Ciencias.

## **LITERATURA CITADA**

- Alexopoulou, E., Monti, A., Elbersen, H. W., Zegada Lizarazu, W., Million, D., Scordia, D., Zanetti, F., Papazoglou, E. G., & Christou, M. (2018). 3 – Switchgrass: From Production to End Use. In *Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts*. 61–105. Elsevier Inc. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812900-5.00003-5>
- Ashworth, A.J., Moore, P.A., King, R., Pote, D.H., Douglas, J.L., & Jacobs, A.A. (2020). Switchgrass nitrogen fertility response and nutrient cycling in a hay system. *Agronomy Journal*, 112, 1963–1971. doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20156>
- Barney, J. N., Mann, J. J., Kyser, G. B., Blumwald, E., Van Deynze, A., & DiTomaso, J. M. (2009). Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: Ecological implications. *Plant Science*, 177(6), 724–732. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.09.003>
- Brejda, J. J., Brown, J. R., Wyman, G. W., & Schumacher, W. K. (1994). Management of switchgrass for forage and seed production. *Journal of Range Management*, 47(1), 22–27. doi: <https://doi.org/10.2307/4002835>
- Burns, J. C., Pond, K. R., Fisher, D. S., & Luginbuhl, J. M. (1997). Changes in Forage Quality, Ingestive Mastication, and Digesta Kinetics Resulting from

- Switchgrass Maturity. *Journal of Animal Science*, 75(5), 1368–1379. doi: <https://doi.org/10.2527/1997.7551368x>
- Casler, M. D., & Boe, A. R. (2003). Cultivar x environment interactions in Switchgrass. *Crop Science*, 43(6), 2226–2233. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2226>
- Casler, M. D., Mitchell, R. B., & Vogel, K. P. (2012). Switchgrass. In C. Kole, C. P. Joshi, & D. R. Shonnard (Eds.), *Handbook of Bioenergy Crop Plants* (pp. 563–590). doi: <https://doi.org/10.1201/b11711-25>
- Elbersen, H. W., Christian, D. G., El Bassam, N., Alexopoulou, N., Pignatelli, E., & Van Den Berg, D. (2001). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe: Initiation of a productivity network. *Final report FAIR*. Recuperado de [https://www.switchgrass.nl/upload\\_mm/3/0/6/a0982a5d-bb01-4054-92bc-d7ba96c8fa7a\\_Elbersen%20et%20al%202003.%20Final%20report%20Eu%20switchgrass%20project.pdf](https://www.switchgrass.nl/upload_mm/3/0/6/a0982a5d-bb01-4054-92bc-d7ba96c8fa7a_Elbersen%20et%20al%202003.%20Final%20report%20Eu%20switchgrass%20project.pdf)
- Emery, S. M., Stahlheber, K. A., & Gross, K. L. (2020). Drought minimized nitrogen fertilization effects on bioenergy feedstock quality. *Biomass and Bioenergy*, 133, 105452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105452>
- Feng, Q., Chaubey, I., Engel, B., Cibin, R., Sudheer, K. P., & Volenec, J. (2017). Marginal land suitability for switchgrass, Miscanthus and hybrid poplar in the Upper Mississippi River Basin (UMRB). *Environmental Modelling and Software*, 93, 356–365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.027>
- Guretzky, J. A., Biermacher, J. T., Cook, B. J., Kering, M. K., & Mosali, J. (2011). Switchgrass for forage and bioenergy: Harvest and nitrogen rate effects on

- biomass yields and nutrient composition. *Plant and Soil*, 339(1), 69–81. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0376-4>
- Hartman, J. C., Nippert, J. B., Orozco, R. A., & Springer, C. J. (2011). Potential ecological impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biofuel cultivation in the Central Great Plains, USA. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3415–3421. doi: [10.1016/j.biombioe.2011.04.055](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.055)
- Kering, M. K., Guretzky, J. A., Interrante, S. M., Butler, T. J., Biermacher, J. T., & Mosali, J. (2013). Harvest timing affects switchgrass production, forage nutritive value, and nutrient removal. *Crop Science*, 53(4), 1809–1817. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.10.0568>
- Liu, X. J. A., Fike, J. H., Galbraith, J. M., & Fike, W. B. (2014). Switchgrass Response to Cutting Frequency and Biosolids Amendment: Biomass Yield, Feedstock Quality, and Theoretical Ethanol Yield. *Bioenergy Research*, 7(4), 1191–1200. doi: <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9454-4>
- Luginbuhl, J. M., Pond, K. R., Burns, J. C., & Fisher, D. S. (2000). Intake and chewing behavior of steers consuming switchgrass preserved as hay or silage. *Journal of Animal Science*, 78(7), 1983–1989. doi: <https://doi.org/10.2527/2000.7871983x>
- Ma, Z., Wood, C. W., & Bransby, D. I. (2000). Impacts of soil management on root characteristics of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 18(2), 105–112. doi: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(99\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00076-8)
- Mitchell, R., Lee, D. K., & Casler, M. (2014). Switchgrass. In D. L. Karlen (Ed.), *Cellulosic Energy Cropping Systems* (1st ed., pp. 75–89). John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118676332.ch5>
- Parrish, D. J., & Fike, J. H. (2005). The biology and agronomy of switchgrass for

- biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(5–6), 423–459. doi: <https://doi.org/10.1080/07352680500316433>
- Reynolds, J. H., Walker, C. L., & Kirchner, M. J. (2000). Nitrogen removal in switchgrass biomass under two harvest systems. *Biomass and Bioenergy*, 19(5), 281–286. doi: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00042-8)
- Samson, R., Delaquis, E., Deen, B., Debruyne, J., & Eggimann, U. (2016). Switchgrass Agronomy 2016 (Issue December). Recuperado de <https://www.agrireseau.net/documents/93992/switchgrass-agronomy>
- USDA-NRCS. (2001). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) Plant Fact Sheet. Recuperado de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_PLANTMATERIALS/publications/gapmcf10202.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/gapmcf10202.pdf)
- Vogel, K. P. (2004). Switchgrass. In L. E. Moser, B. L. Burson, & L. E. Sollenberger (Eds.), *Warm-Season (C4) Grasses* (Vol. 45, pp. 561–588). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. doi: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr45.c16>
- Vogel, K. P., Saathoff, A. J., & Mitchell, R. B. (2010). Switchgrass. In N. Halford & A. Karp (Eds.), *Energy Crops* (pp. 341–380). doi: <https://doi.org/10.1039/9781849732048-00341>
- Wayman, S., Bowden, R. D., & Mitchell, R. B. (2014). Seasonal Changes in Shoot and Root Nitrogen Distribution in Switchgrass (*Panicum virgatum*). *Bioenergy Research*, 7(1), 243–252. doi: <https://doi.org/10.1007/s12155-013-9365-9>

## **CAPÍTULO 4. POTENCIAL DE ALGUNAS LEGUMINOSAS ANUALES COMO FORRAJERAS DE INVIERNO**

Jesús Adán Martínez-Zaragoza<sup>1</sup>, Pedro Arturo Martínez-Hernández<sup>1β</sup>, José Luis Zaragoza-Ramírez<sup>1</sup>, Enrique Cortés-Díaz<sup>2</sup>

### **Resumen**

Con el objetivo de determinar el potencial de los chícharos común y de invierno como fuentes de forraje invernal en comparación a la veza común, se realizó un ensayo de campo con siembra en tres fechas: 4, 14 y 24 de febrero, 2021. El diseño experimental fue completamente al azar con dos repeticiones, la unidad experimental se conformó de dos líneas de siembra. En las siembras del 4 y 24 de febrero, ambos chícharos mostraron mejor establecimiento que la veza común a 35 días de la siembra; sin embargo, a la cosecha realizada el 16 de junio, en rendimiento total y de hoja, veza común superó ( $p < 0.05$ ) a ambos chícharos. El rendimiento total fue 2 y 5 veces y el de hoja 2.6 y 5.3 veces superior al promedio registrado para ambos chícharos, en la primera y última fechas de siembra, respectivamente. Con la fecha de siembra del 14 de febrero las tres leguminosas mostraron un establecimiento nulo, no se encontró explicación para este resultado. La conclusión fue que si bien veza común superó en rendimientos a los chícharos común y de invierno debe continuarse investigando estos chícharos como fuente de forraje invernal.

Palabras claves: Rendimiento de hoja, establecimiento inicial, chícharo forrajero.

<sup>1</sup>Posgrado en Producción Animal, <sup>2</sup>Centro Regional Universitario del Anáhuac, Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP 56230. Tel 595952121 ([jamzmzz96@gmail.com](mailto:jamzmzz96@gmail.com), [pedroarturo@correo.chapingo.mx](mailto:pedroarturo@correo.chapingo.mx), [izaragozar@chapingo.mx](mailto:izaragozar@chapingo.mx), [ecodia@yahoo.com.mx](mailto:ecodia@yahoo.com.mx))

<sup>β</sup>Autor para correspondencia: Pedro Arturo Martínez-Hernández, [pedroarturo@correo.chapingo.mx](mailto:pedroarturo@correo.chapingo.mx)

## **Abstract**

A field experiment was carried out with the objective to compare common and winter peas against common vetch as sources of winter forage with the seeding dates: February 4, 14 and 24, 2021. Experimental design was a completely random with two repetitions, two seeding lines were the experimental unit. On February 4 and 24 seeding dates, both peas showed a better establishment at 35 days after seeding than common vetch; however, at harvest day, June 16, 2021, common vetch showed a better ( $p<0.05$ ) yield performance than both peas. Total yield was 2 and 5 times and leaf yield was 2.6 and 5.3 times higher in common vetch than the respective average yield of both peas, at the first and last seeding dates, respectively. With the February 14 seeding date all three legumes failed to establish, no explanation was found for this result. It was concluded that research on forage peas as winter forage should be continued despite the better yield performance shown by common vetch in this study.

Key words: leaf yield, initial establishment, forage peas.

## **INTRODUCCIÓN**

En el noreste del estado de México y áreas colindantes de los estados de Puebla, Tlaxcala e Hidalgo predomina la provincia climatológica Cwo, invierno muy seco y con momentos del día en que la temperatura ambiental fluctúa entre 0 y 5 °C (García, 2004). Las bajas temperaturas ambientales ocasionales originan una fuerte caída en la tasa de acumulación de forraje de forrajeras perennes de uso común en la región como alfalfa, ovillo y rye grass perenne aun aplicando riego (Velasco, Hernández y González, 2005; Rivas, et al., 2020). Para gramíneas

nativas del género *Bouteloua* el invierno origina la senescencia de la biomasa aérea (Vibrans, 2011).

La avena forrajera cultivada en invierno afronta la reducción de la tasa diaria de acumulación de forraje de las especies perennes, al rendir 3 a 9 t de forraje  $\text{h}^{-1}$ ; sin embargo, es necesario aplicar 50 a 120 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , originando un costo alto de producción y alto riesgo de contaminación con dosis de 100 o más kg de nitrógeno  $\text{ha}^{-1}$  (SAGARPA, 2017). Avena crecida con la leguminosa veza común demandó poco nitrógeno adicional y rindió de 11 a 15 t de forraje total  $\text{ha}^{-1}$ , veza sin avena rindió 23 a 36% de lo que rindió la avena sola. La veza sola como leguminosa invernal no es una buena opción por el bajo rendimiento total de forraje (Flores et al., 2016).

Las leguminosas anuales de invierno solas o asociadas con cereales son una alternativa para mejorar cantidad y calidad del forraje producido, sin recurrir a altas dosis de fertilizante nitrogenado; sin embargo, estas especies y variedades, deben ser validadas para las diferentes condiciones edáficas y climáticas de los lugares de posible adaptación de las mismas (Hancock, 2007; Dubeux et al., 2017).

El estudio tuvo como objetivo determinar rendimiento total y por componente de dos entradas de leguminosas anuales de invierno en comparación con veza común mediante un ensayo de campo para generar información base que permita considerar el potencial forrajero de estas dos entradas de leguminosas.

## **Materiales y métodos**

La fase de campo de la investigación se realizó en una parcela comercial del ejido de Huexotla, Texcoco de Mora, Estado de México a 19°29'60" N; 98°54'O y 2247 msnm. Solamente la semilla de tres de las seis entradas de leguminosas anuales disponibles mostró un nivel de germinación no menor a 60% y fueron estas tres entradas las que se usaron para la fase de campo de la investigación.

En la parcela se ubicaron tres áreas de 17.5 m<sup>2</sup> (3.5 X 5 m), un día antes de la fecha de siembra de cada área, el suelo fue barbechado y rastreado manualmente, se trazaron con un pico seis líneas de 5 m de longitud, 1.5 cm de profundidad y a 50 cm de separación. En la fecha de siembra una misma entrada de leguminosa anual se sembró en dos líneas contiguas. La siembra fue manual colocando y tapando de 2 a 3 semillas cada 20 cm dentro de la línea trazada, el número de semillas se determinó con base en el porcentaje de germinación y procurar al menos una planta cada 20 cm. Para dar una densidad de 50 individuos por m<sup>2</sup>. Se aplicaron tres riegos de auxilio, uno de ellos a la siembra, solamente se hizo un control manual de especies espontáneas.

Las tres entradas de leguminosas anuales fueron: chícharo común (*Pisum sativum* L.) chícharo de invierno (*P. sativum* L. ssp. *sativum* var. *Arvense*) y veza común (*Vicia sativa* L.) como entrada testigo. Las fechas de siembra para cada área fueron: 4, 14 y 24 de febrero, 2021.

A 35 días de la fecha de siembra se calificó el establecimiento de las entradas, en una escala de 0 a 5, a mayor número mejor establecimiento, para esta calificación se observa altura, ramificación, hojas y aspecto de las plantas, la calificación se hizo con base a las dos líneas de cada entrada. El 16 de junio,

2021, se realizó un corte a ras de suelo de los 4 metros centrales de cada línea de siembra en las tres áreas, el material cosechado se separó en hoja, tallo, flor y vaina, que fueron pesados luego de secado a 65°C por 72 h.

El diseño experimental fue completamente al azar con dos repeticiones, la unidad experimental fue una línea de siembra. El análisis estadístico fue por análisis de varianza independiente para cada fecha de siembra, la fuente de variación intencional fue la entrada de leguminosa, las variables de respuesta fueron: rendimiento total, de hoja, tallo, flor y vaina. Si el análisis de varianza identificó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) de la entrada de leguminosa, se hizo una separación de medias por Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). La calificación del establecimiento a 35 días de la siembra no se analizó estadísticamente al no contar con repeticiones.

## **Resultados y discusión**

En las siembras del 4 y 24 de febrero puede señalarse una mejor calificación de establecimiento a los 35 días de la siembra de las dos entradas de leguminosas, chícharo y chícharo de invierno, en comparación a la entrada testigo, veza común. En la siembra del 14 de febrero ninguna de las entradas sobresalió, para las tres entradas el establecimiento a los 35 días de la siembra fue muy pobre (Cuadro 1).

La menor calificación de establecimiento para la veza común en comparación a las otras dos entradas de leguminosas, en las fechas del 4 y 24 de febrero, podría asociarse a que veza común muestra un lento desarrollo inicial según lo señalaron Nguyen, Riley, Nagel, Fisk y Searle (2020). La calificación muy baja para las tres entradas en la siembra del 14 de febrero es difícil de explicar al

considerar que el tipo de suelo, riego y condiciones de clima fueron similares a las otras dos fechas de siembra y que lograron una calificación buena.

La pobre calificación de establecimiento de la fecha de siembra 14 de febrero, tuvo como seguimiento que no se registró en ninguna de las entradas de leguminosas rendimiento cuando se llegó la fecha de cosecha.

El rendimiento total de veza fue dos y cinco veces superior al promedio del rendimiento total de chícharo común y de invierno, en las fechas de siembra del 4 y 24 de febrero, respectivamente. La mayor superioridad en rendimiento total de veza común en la última fecha de siembra se explica con base en que chícharo común mostró un rendimiento 68% menor al de la primera fecha, veza común aumentó 1.1 veces su rendimiento total y chícharo de invierno mostró un ligero aumento de la primera a la última fecha.

Cuadro 1. Calificación de establecimiento a 35 días de la siembra y rendimiento total y por componentes en tres entradas de leguminosas anuales

| Entrada                           | Establecimiento | Rendimiento (g/2m <sup>2</sup> ) |       |        |      |       |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------|--------|------|-------|
|                                   |                 | Total                            | Hoja  | Tallo  | Flor | Vaina |
| a) Fecha de siembra 4 de febrero  |                 |                                  |       |        |      |       |
| Chícharo común                    | 4.0             | 8.72b                            | 3.61b | 4.38ab | 0.13 | 0.59  |
| C. invierno                       | 3.5             | 5.06c                            | 2.08b | 2.97b  | 0.00 | 0.00  |
| Veza común                        | 2.0             | 13.45a                           | 7.49a | 5.72a  | 0.00 | 0.00  |
| EEM                               |                 | 2.37                             | 1.71  | 1.52   | S/C  | S/C   |
| b) Fecha de siembra 14 de febrero |                 |                                  |       |        |      |       |
| Chícharo común                    | 1.0             | S/D                              | S/D   | S/D    | S/D  | S/D   |

|             |     |     |     |     |     |     |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| C. invierno | 1.0 | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| Veza común  | 0.0 | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |

c) Fecha de siembra 24 de febrero

|                |     |        |        |        |      |      |
|----------------|-----|--------|--------|--------|------|------|
| Chícharo común | 2.5 | 2.76c  | 1.47c  | 0.44b  | 0.38 | 0.46 |
| C. invierno    | 2.5 | 7.61b  | 4.57b  | 3.03b  | 0.00 | 0.00 |
| Veza común     | 1.0 | 28.52a | 16.23a | 11.95a | 0.33 | 0.00 |
| EEM            |     | 3.34   | 2.57   | 2.23   | S/C  | S/C  |

a, b,..., medias en igual columna y fecha de siembra con al menos una letra en común no son diferentes, Tukey  $\alpha=0.05$ . EEM, error estándar de la media. S/C, sin posibilidad de cálculo. S/D, sin datos por no sobrevivir las entradas.  
Elaboración propia.

La proporción de hoja en el rendimiento total se mantuvo entre 41 y 50% para las tres entradas en la primera y última fecha de siembra. Sin embargo, en rendimiento de hoja la veza común superó ( $p<0.05$ ) a las otras dos entradas, en la primera fecha y última fecha, veza común mostró 2.6 y 5.3 veces más hoja que el promedio de las otras dos entradas. Esta superioridad es cercana a la registrada en rendimiento total.

Chícharo común, a diferencia del chícharo de invierno y la veza común, en ambas fechas mostró flor y vaina como componentes del rendimiento total, lo que podría indicar que esta entrada tiene un desarrollo más rápido que las otras dos. Oelke et al. (1991) señalaron que el chícharo común es una especie precoz en su desarrollo, lo que hace del chícharo común un forraje de ciclo corto apto como un cultivo en rotaciones con intervalos cortos.

En general ambos chícharos, común y de invierno, no mostraron comparativamente con la veza común alguna ventaja en rendimiento total. De hoja y tallo; sin embargo, se abre la posibilidad de estudios más extensos

abarcando desde el fin del otoño e inicio del invierno. Koivisto, Benjamin, Lane y Davies (2003) recomendaron que al estudiar y validar el uso de chícharos forrajeros debe procurarse incorporar las diferentes variedades y ecotipos de esta especie por mostrar una gran variabilidad.

Heuzé, Tran y Giger-Reverdin (2015) registraron que los chícharos forrajeros pueden rendir de 5 a 35 t de forraje base seca ha<sup>-1</sup>, además de producir forraje verde y paja de calidad excelente, sugieren se estudie este grupo de forrajeras en diferentes ambientes. También resaltan algunas fortalezas de los chícharos forrajeros: versatilidad de usos, mejoradores del suelo, componentes importantes en esquemas de rotación de cultivos, desarrollo precoz entre otros. En seguimiento a esta información y aun ante la pobreza de los resultados en comparación con la veza común, podría considerarse el seguir investigando el comportamiento productivo de los chícharos forrajeros.

## **Conclusión**

Las dos entradas de leguminosas anuales fueron chícharo común y chícharo de invierno, la veza común superó a ambas entradas en rendimiento totales y hoja. Sin embargo, el comportamiento inicial de ambos chícharos permite concluir continuar con estudios de mayor amplitud para evaluar y en lo posible validar el uso de estas entradas para producir forraje en la estación invernal en áreas con clima templado subhúmedo.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado al primer autor durante sus estudios de Maestría en Ciencias.

## LITERATURA CITADA

- Dubeux, J., Wallau, M., Rios, E., Newma, Y.C., Munoz, P., & Quesenberry, K. (2017). Winter Forage Legume Guide. SS-AGR-49. *IFAS Extension*, University of Florida. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/DS127>
- Flores, N.M.J., Sánchez, G.R.A., Echavarría, C.F.G., Gutiérrez, L.R., Rosales, N.C.A., & Salinas, G.H. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Rev Mex Cienc Pecu* 7(3), 275-291. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242016000300275](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000300275)
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 5ª edición. Instituto de Geografía-UNAM, México. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- Hancock, D. (2007). Cool season species and varieties. University of Georgia. Recuperado de <https://georgiaforages.caes.uga.edu/species-and-varieties/cool-season/winter-pea.html>
- Heuzé, V., Tran, G., & Giger-Reverdin, S. (2015). Pea Forage. *Feedipedia*, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. Recuperado de <https://www.feedipedia.org/node/7047>
- Koivisto, J. M., Benjamin, L. R., Lane, G. P. F., & Davies, W. P. (2003). Forage potential of semi-leafless grain peas. *Grass and Forage Sci.*, 58 (2), 220-223. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00368.x>
- Nguyen, V., Riley, S., Nagel, S., Fisk, I., & Searle, I.R. (2020) Common Vetch: A Drought Tolerant, High Protein Neglected Leguminous Crop With Potential

- as a Sustainable Food Source. *Front. Plant Sci.* 11:818. doi:  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00818>
- Oelke, E. A., Oplinger, E. S., Hanson, C. V., Davis, D. W., Putnam, D. H., Fuller, E. I., & Rosen, C. J., (1991). Dry field pea. Alternative Field Crop Manual. University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension. Recuperado de <https://www.feedipedia.org/node/7160>
- Rivas, J.M.A., Herrera, H.J.G., Hernández, G.A., Vaquera, H.H., Alejos, D.F.J.I., & Cadena, V.S. (2020)., Rendimiento de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* publicación especial 24, 141-152. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342020000900141](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000900141)
- SAGARPA. (2017). Avena forrajera mexicana. *Planeación agrícola nacional 2017-2030*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256424/B\\_sico-Avena.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256424/B_sico-Avena.pdf)
- Velasco, Z. M. E., Hernández, G.A., & González, H.V. (2005). Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. *Téc Pecu Méx* 43, 247-258. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/613/61343211.pdf>
- Vibrans, H. (2009). Malezas de México. *Conabio*. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/bouteloua-repens/fichas/ficha.htm>

## **CAPÍTULO 5. Perfil de la biomasa aérea acumulada en verano de *Crotalaria pumila* Ort.**

Jesús Adán Martínez-Zaragoza<sup>1</sup>, Pedro Arturo Martínez-Hernández<sup>1β</sup>, José Luis Zaragoza-Ramírez<sup>1</sup>, Enrique Cortés-Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Producción Animal, <sup>2</sup>Centro Regional Universitario del Anáhuac, Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México, CP 56230. Tel 595952121 ([jamzmzz96@gmail.com](mailto:jamzmzz96@gmail.com), [pedroarturo@correo.chapingo.mx](mailto:pedroarturo@correo.chapingo.mx), [jzaragozar@chapingo.mx](mailto:jzaragozar@chapingo.mx), [ecodia@yahoo.com.mx](mailto:ecodia@yahoo.com.mx))

<sup>β</sup>Autor para correspondencia: Pedro Arturo Martínez-Hernández, [pedroarturo@correo.chapingo.mx](mailto:pedroarturo@correo.chapingo.mx)

### **Resumen**

*Crotalaria pumila* Ort es una leguminosa nativa de México con poca información sobre el potencial forrajero con base a su perfil de acumulación durante el verano, por lo que se realizó un estudio de campo con el objetivo de determinar el rendimiento total y por componente durante el verano del 2021 para generar información base para la toma de decisiones al respecto de la posibilidad de la especie como forrajera. En un área con *C. pumila* espontánea, un total de nueve muestreos semanales se realizaron, en cada uno de ellos se determinaron los rendimientos total, de hoja, tallo, flor y vainas, aporte en porcentaje de cada uno de ellos, altura de planta y número de hojas, tallos, flores y vainas por planta, para un total de 14 variables. El análisis estadístico consideró estas variables como de respuesta y la independiente el número de días transcurridos en el verano. Conforme avanzó el verano, los rendimientos totales y de vaina se incrementaron ( $p < 0.05$ ) el de tallo se mantuvo constante ( $p > 0.05$ ) y el de hoja disminuyó ( $p < 0.05$ ) al igual que el número de hojas y tallos por planta, el incremento en el rendimiento de vaina se dio con un aumento ( $p < 0.05$ ) en el número de vainas por planta. El alto rendimiento de vaina permite asegurar una resiembra natural de *C. pumila*. El rendimiento total varió de 9 a un poco más de 20 t ha<sup>-1</sup>.

La conclusión es que con base al rendimiento total *Crotalaria pumila* puede ser una opción de especie forrajera.

Palabras clave: Rendimiento total, vainas, leguminosa nativa

### **Abstract**

*Crotalaria pumila* Ort is a Mexican native legume with little information on forage potential based on its summer accumulation profile, then a field study was done with the objective to determine yield: total and by component along the summer of 2021 to provide base information to take decisions on the forage potential of this species. On a surface with spontaneous growth of *C. pumila*, a total of nine weekly samples were taken, in each 14 variables were recorded: total, leaf, stem, flower and pod yields, contribution (%) of each to total yield, plant height, and number of leaves, stems, flowers and pods per plant. As summer went by, total and pod yields increased ( $p<0.05$ ), stem yield showed no change ( $p>0.05$ ) and leaf yield decreased ( $p<0.05$ ) as well as leaf and stem numbers per plant, the increase in pod yield came along with a higher ( $p<0.05$ ) number of pods per plant and assures a natural reseeding. Total yield went from 9 to over 20 t/ha. It was concluded that based on total yield *Crotalaria pumila* shows some forage potential.

Key words: Total yield, pods, native legume

### **Introducción**

La función de las herbáceas nativas, como colonizadoras iniciales es contribuir a la formación del suelo, al aumento de la fertilidad de suelo y a conservar suelo y agua (Vázquez *et al.*, 1999); ventaja que es limitada para especies herbáceas introducidas debido a su pobre o nula capacidad de adaptación al lugar (Schlaepfer *et al.*, 2011). Por esta razón, es recomendable realizar ensayos de campo para medir la habilidad de las herbáceas náticas para rehabilitar el estado de salud del suelo (Pagano, 2012). En la restauración de suelos degradados de ecosistemas semiáridos y subhúmedos debe validarse la integración de leguminosas nativas con la vegetación presente su capacidad de adaptarse y sobrevivir en estos ambientes (Bianco y Cenzano, 2018).

El beneficio de las leguminosas nativas para el ecosistema al que se integran es el nitrógeno atmosférico que fijan en los nódulos de sus raíces y el nitrógeno orgánico contenido en su tejido vegetal, que se mineralizan y depositan en el suelo cuando las plantas mueren (Rasmussen *et al.*, 2013; Alcântara *et al.*, 2000), si la planta de leguminosa es consumida por un herbívoro, parte del nitrógeno contenido en el tejido vegetal retorna al suelo vía orina o heces (Alonso *et al.*, 2005). Esto último obliga a complementar estudios con enfoque ecológico con la investigación del potencial forrajero de las leguminosas nativas (Broderick, 1995; Rodríguez *et al.*, 2015; Coll y Zarza, 1992).

La tronadora o chipilin (*Crotalaria pumila* Ort.) es una de las leguminosas nativas de México, se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Sudamérica hasta México, está presente en 27 de las 32 entidades federativas de México. Es una hierba anual erguida, de hasta 50 cm de altura, es anual o perenne de vida corta. Es una especie vegetal muy común en tierras baldías y de pastizal nativo del Valle de México en vegetación pino-encino de 2250 a 2350 msnm y nombre comunes: tronadora, hierba del cuervo y sonadora (Manzanero-Medina *et al.*, 2020; Vibrans, 2009). En México y Centroamérica existe la planta *C. longirostrata*, especie cercana a *C. pumila* y usada para consumo humano (Schrei, 2020).

Esta especie se ha recomendado para restauración ecológica en ambientes subhúmedos de México (Lindig-Cisneros y Lara-Cabrera, 2004). Calderón y Rzedowski (2005) registraron a *C. pumila* Ort. como una especie anual del Valle de México asociada a vegetación de pastizal entre 2250 y 2350 msnm. En algunas regiones de Oaxaca se utiliza para consumo humano (Manzanero-Medina *et al.*, 2020) mientras que en África se ha sugerido el uso del género *Crotalaria* como abono verde o para cultivos intercalados (Fischler *et al.*, 1999).

El objetivo fue analizar el perfil de la biomasa aérea acumulada, total y por componente, en verano por *Crotalaria pumila* Ort. mediante un seguimiento en campo para generar información base útil en validar la posibilidad del uso de esta especie como fuente de forraje a partir de un suelo con evidencias de degradación como lo es el afloramiento de tepetate.

## Materiales y métodos

La fase de campo de la investigación se realizó en la parcela J-134 Loma de San Juan, Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a 19° 29' 45.8'' N; 98° 51' 06.1'' W y a 2250 msnm. El clima es Cbw<sub>0</sub>(w)(i') g, templado con verano fresco largo, el más seco de los subhúmedos, con lluvias en verano, poca oscilación de temperatura y el mes más caluroso se presenta antes del solsticio de verano (García, 2004).

En la parcela mencionada de aproximadamente 1 ha, se ubicaron tres áreas con similar densidad espontánea de *Crotalaria pumila* Ort., de aproximadamente 60-70 m<sup>2</sup> cada una. Cada área fue muestreada semanalmente del 3 de agosto al 28 de septiembre de 2021, para un total de nueve muestreos. La identificación de la especie se hizo con base a información del USDA (2022).

Para la toma de muestras cada semana se empleó un cuadro de 20 X 20 cm (0.04 m<sup>2</sup>), el cual se colocó en tres ocasiones en trayectoria de zizag evitando colocar el cuadro en algún lugar previamente muestreado. En cada muestro se colectaron tres plantas del interior del cuadro, para medir a cada una altura (cm), y se contó y colectó las hojas, los tallos, las flores y las vainas, las cuales fueron colocadas en bolsas de papel. Después se cosechó todas las plantas de tronadora a nivel del suelo que estaban dentro del cuadro. Las partes colectadas de la planta (hojas, tallos, flores y vainas) y las plantas cosechadas fueron pesada y expuestas a un proceso de secada en estufa de aire forzado a 65° C por 72 h. Todas las muestras puestas a secar fueron pesadas una vez deshidratada. Para el caso de las partes de las plantas (hojas, tallo, inflorescencia y vaina), se calculó el porcentaje de cada componente de la planta con base al base a peso seco, como sigue:

$$\text{Componente (\%)} = \frac{\text{Peso seco del componente } i}{\text{Peso seco de ambos compomentes } i} * 100$$

Con la base de datos se calcularon estadísticos descriptivos (Witte y Witte, 2015) de 14 variables: altura de planta (cm), número de hojas, tallos, flores y vainas por planta, pesos seco total y peso seco y porcentaje para cada componente de las plantas (hoja, tallo, flor y vainas) y su contribución a la biomasa vegetal aérea. Se realizó un análisis de varianza para las variables anteriores como dependientes del número de días transcurridos desde el inicio de la estación del verano (21 de junio), usando un modelo para un diseño experimental completamente aleatorizado, El número de días transcurridos del verano se

calculó con base en días julianos, al día juliano de la fecha de muestreo se restó el día juliano de inicio del verano.

Para el análisis estadístico, altura de planta se usó el promedio de las tres plantas, número de hojas, tallos, flores y vainas se usó el total de las tres plantas, para la presentación de los resultados el número de hojas, tallos, flores y vainas se expresó por planta (promedio de las tres plantas para cada variable). Los rendimientos se analizaron como gramos/0.04 m<sup>2</sup> (20X20 cm), para presentar estos resultados se convirtieron a kg ha<sup>-1</sup>. En caso de efecto significativo ( $p < 0.05$ ) se aplicó la separación de medias por Tukey a un  $\alpha = 0.05$ . Los cálculos se hicieron mediante PROC GLM, de SAS (SAS, 2011).

## Resultados

Para once de catorce variables medidas directamente en campo o calculadas se detectó efecto ( $p < 0.05$ ) de días transcurridos en verano (Cuadro 1). El peso seco de tallo, altura de planta y número de tallos por planta no fueron diferentes ( $p > 0.05$ ) en el tiempo, días transcurridos en el verano. Estas cualidades del tallo fueron relativamente constantes a través del verano y consecuentemente el cambio en la biomasa acumulada no fue debida a cambios cuantitativos en el tallo. El no registrar cambios en la altura del tallo durante el estudio, es indicador de que la elongación de tallo que determina el tamaño de la planta ocurrió previo al inicio del estudio, para favorecer la habilidad competitiva de la *C. pumila*, en relación con otras plantas.

**Cuadro 1. Estadísticos del efecto del número de días transcurridos en el verano sobre variables agronómicas de *Crotalaria pumila* Ort.**

| Variable agronómica | Valor de P | Error estándar de la media | Coefficiente de variación (%) |
|---------------------|------------|----------------------------|-------------------------------|
| Rendimiento total   | 0.0247     | 24.25                      | 42.78                         |
| Porcentaje de hoja  | <.0001     | 5.00                       | 19.40                         |

|                      |        |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|
| Rendimiento de hoja  | 0.0384 | 5.09  | 33.99 |
| Porcentaje de tallo  | 0.0014 | 5.00  | 12.36 |
| Rendimiento de tallo | 0.1395 | 10.76 | 43.95 |
| Porcentaje de flor   | 0.0005 | 2.00  | 76.10 |
| Rendimiento de flor  | 0.0006 | 1.19  | 66.18 |
| Porcentaje de vaina  | <.0001 | 7.00  | 35.70 |
| Rendimiento de vaina | 0.0014 | 11.9  | 77.11 |
| Altura de planta     | 0.1480 | 9.79  | 18.46 |
| Tallos por planta    | 0.1094 | 1.29  | 51.33 |
| Hojas por planta     | 0.0351 | 56.10 | 35.35 |
| Flores por planta    | 0.0312 | 8.08  | 58.69 |
| Vainas por planta    | 0.0012 | 13.86 | 53.11 |

---

Las variables relacionadas con el rendimiento y porcentaje de flor y de vaina mostraron tener amplia variabilidad (Cuadro 1), lo que revela la posibilidad de seleccionar individuos con mayor rendimiento con fines de generar una población más productiva, que conserven la cualidad de la población nativa de aumentar de peso seco gradualmente durante los 71 días transcurridos del verano, desde el inicio al último tercio del verano, que significó un incremento de 35% (Cuadro 2).

El aumento gradual en el rendimiento total fue asociado a la disminución continua del rendimiento de hoja con el avance del verano, el cual disminuyó casi 50% del primer tercio del verano al final de este (Cuadro 2). La caída en el rendimiento de hoja (50%) fue mayor al incremento en rendimiento total (35%) del inicio al final del verano. El rendimiento de vaina fue la variable que mostró la mayor variación en el periodo de estudio, fue casi 250 veces mayor hacia el último tercio del verano en comparación al final del primer tercio, lo que se interpretó como una estrategia de la planta para asegurar su sobrevivencia y crecimiento en la siguiente estación de lluvias mediante la producción de semilla.

El alto rendimiento total registrado al final del verano se explica por el alto rendimiento en vaina ya que el rendimiento de tallo se mantuvo sin mayores cambios a lo largo de todo el periodo de estudio (Cuadro 2). La vaina fue el componente del rendimiento que contribuyó con 47% al rendimiento al final del

periodo de estudio, 90 días de transcurrido el verano, un salto importante del 1% del total de la biomasa aérea a 43 días de transcurrido (Cuadro 3).

**Cuadro 2. Rendimiento total y por componentes de *Panicum virgatum* a través del verano**

| Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) |                    |        |       |       |         |
|------------------------------------|--------------------|--------|-------|-------|---------|
| Días*                              | Total              | Hoja   | Tallo | Flor  | Vaina   |
| 43                                 | 9185b              | 4030ab | 5060  | 53b   | 40c     |
| 50                                 | 10993ab            | 4538ab | 5913  | 223b  | 300c    |
| 57                                 | 11733ab            | 4143ab | 5195  | 1393a | 975c    |
| 64                                 | 7128b              | 2695ab | 3105  | 135b  | 1175bc  |
| 71                                 | 12433ab            | 3838ab | 5330  | 475b  | 2775abc |
| 78                                 | 13728ab            | 3763ab | 7565  | 20b   | 2375abc |
| 85                                 | 27175 <sup>a</sup> | 6105a  | 10438 | 785ab | 9850a   |
| 92                                 | 19738ab            | 2348b  | 7388  | 343b  | 9650ab  |
| 99                                 | 15453ab            | 2273b  | 5115  | 520b  | 7525abc |

\* El número de días transcurridos en el verano, se calculó con base a días

julianos, el 21 de junio, inicio del verano es el día 172, al día juliano de la fecha de corte se le restó 172.

a,b,... medias en igual columna con al menos una letra en común no son diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

El componente tallo tuvo mayor contribución al rendimiento hacia la parte inicial del verano con más del 50% que el final del verano cuando contribuyó con más del 30% de la biomasa total aérea. La caída en el aporte del tallo a la biomasa total aérea se explica por la influencia de la vaina en el rendimiento total (Cuadro 3). La implicación práctica de esto para la planta es destinar mayor cantidad de energía y dióxido de carbono capturado a la formación de semillas como una estrategia de sobrevivencia y colonización del área en la siguiente estación de crecimiento o lluvias. Dado que el aporte del

componente hoja, la fábrica de foto-asimilados y suministradora de materia prima para la formación de tejido vegetal, a la biomasa total aérea o al rendimiento fue disminuyendo gradualmente conforme avanzó el verano. Al inicio del verano casi alcanzó un aporte cercano al 50% pero hacia el final del verano fue menor al 20%.

### **Cuadro 3. Aporte (%) de cada componente a la biomasa aérea de *Crotalaria pumila***

#### **Ort. a través del verano**

| Componente y su aporte a la biomasa aérea |       |      |        |     |        |    |        |    |
|-------------------------------------------|-------|------|--------|-----|--------|----|--------|----|
| Días*                                     | Hojas |      | Tallos |     | Flores |    | Vainas |    |
| 43                                        | 44.6  | A    | 54.3   | a   | 0.53   | b  | 0.54   | c  |
| 50                                        | 43.3  | A    | 52.9   | ab  | 1.50   | b  | 2.34   | c  |
| 57                                        | 34.8  | Ab   | 44.9   | abc | 12.66  | a  | 7.66   | c  |
| 64                                        | 39.4  | A    | 44.3   | abc | 1.85   | b  | 14.48  | c  |
| 71                                        | 31.4  | Abc  | 43.1   | abc | 3.69   | b  | 21.81  | bc |
| 78                                        | 28.9  | Abcd | 52.5   | ab  | 0.13   | b  | 18.42  | bc |
| 85                                        | 22.1  | Bcd  | 38.3   | bc  | 3.14   | b  | 36.44  | ab |
| 92                                        | 13.0  | D    | 38.3   | bc  | 1.66   | b  | 46.99  | a  |
| 99                                        | 17.3  | Cd   | 32.9   | c   | 5.64   | ab | 44.10  | a  |

\* El número de días transcurridos en el verano, se calculó con base a días julianos, el 21 de junio, inicio del verano es el día 172, al día juliano de la fecha de corte se le restó 172.

a,b,... medias en igual columna con al menos una letra en común no son diferentes

(Tukey,  $\alpha=0.05$ )

A lo largo del verano la altura de planta se mantuvo sin cambios, con promedio de 50 cm, la menor variación en la altura de planta tuvo como consecuencia la estabilidad en el número de tallos por planta, en promedio 2.5 tallos por planta (Cuadro 4). Esto es indicador de que las plantas de esta especie tienen un crecimiento limitado para favorecer la producción de semillas más que la acumulación de peso seco.

Las cantidades de hojas y flores por planta variaron a través del verano, sin embargo, es difícil indicar una tendencia definida conforme avanzó el verano (Cuadro 4). Es posiblemente a la presencia de plantas con diferente estado de desarrollo a una misma fecha o tiempo, como una estrategia de las plantas para adaptarse a las posibles variaciones ambientales anuales y estacionales para evitar el riesgo de extinción de la especie. A diferencia de la cantidad de hojas y flores por planta, la cantidad de vainas mostró un incremento sostenido del inicio al final del verano, al incrementar casi en 15 veces de los 43 a los 85 días de transcurrido el verano (Cuadro 4). Este fuerte incremento en el número de vainas por planta se asoció con importantes incrementos en el rendimiento y aporte proporcional a la biomasa aérea (Cuadros 2 y 3).

**Cuadro 4. Altura de planta y presencia por planta de componentes de la biomasa aérea en *Crotalaria pumila* Ort. en el transcurso del verano**

| Días* | Altura<br>(cm) | Cantidad por planta |    |        |        |    |        |     |
|-------|----------------|---------------------|----|--------|--------|----|--------|-----|
|       |                | Hojas               |    | Tallos | Flores |    | Vainas |     |
| 43    | 48             | 121.9               | b  | 4.4    | 11.7   | Ab | 3.9    | c   |
| 50    | 47             | 189.1               | ab | 3.6    | 9.1    | Ab | 8.1    | c   |
| 57    | 46             | 139.0               | ab | 2.4    | 15.9   | Ab | 12.7   | bc  |
| 64    | 51             | 110.5               | b  | 1.5    | 12.3   | Ab | 14.8   | bc  |
| 71    | 49             | 158.2               | ab | 2.1    | 16.8   | Ab | 29.6   | abc |
| 78    | 53             | 173.6               | ab | 2.6    | 20.4   | Ab | 28.9   | abc |
| 85    | 60             | 253.2               | a  | 2.2    | 24.4   | A  | 57.5   | a   |
| 92    | 70             | 130.9               | ab | 1.1    | 5.8    | B  | 33.7   | abc |
| 99    | 52             | 151.9               | ab | 2.7    | 7.4    | Ab | 45.9   | ab  |

\* El número de días transcurridos en el verano, se calculó con base a días julianos, el 21 de junio, inicio del verano es el día 172, al día juliano de la fecha de corte se le restó 172.

a,b,... medias en igual columna con al menos una letra en común o sin letras no son diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

## Discusión

En general las características agronómicas evaluadas en las plantas de tronadora o chipilin (*Crotalaria pumila* Ort.) presentaron amplia variabilidad a una misma fecha, particularmente los componentes flor y vainas, partes claves de la planta para reproducción y sobrevivencia en condiciones naturales, que exige existencia de individuos con estados de desarrollo distintos (Galindo-Pacheco y Clavijo-Porras, 2009).

Aun así, la floración fue profusa entre los 60 a 80 días de transcurrido el verano, previo a condiciones desfavorables para crecimiento como estrategia para escapar a condiciones de falta de agua para crecimiento en forma de semilla (Fuhlendorf y Engle, 2001). La existencia de un lapso con floración abundante *C. pumila* es un indicador de la estrategia de la planta para producir bastante semilla, banco de semilla, con relativa uniformidad en la madurez fisiológica para mayor potencial de germinación en la próxima estación de crecimiento (Grace, *et al.*, 2019).

El rendimiento total se incrementó conforme avanzó el verano, sin embargo, con el primer registro de rendimiento a 43 días de transcurrido del verano *C. pumila* alcanzó un rendimiento total poco mayor a las 9 t ha<sup>-1</sup>, nivel de rendimiento que la hace una opción forrajera si se considera que en algunos cereales forrajeros como avena y triticale se han registrado rendimientos totales entre 7 a 12 t ha<sup>-1</sup>, en algunos casos bajo condiciones de riego (Velasco López *et al.*, 2020).

## Conclusión

En este estudio *Crotalaria pumila* Ort muestra ser una leguminosa nativa de México con potencial forrajero en condiciones de temporal del verano de un sitio del Valle de México, con rendimiento total que la hace candidata a ser seleccionada como futura planta forrajera. Destaca su cualidad para producir semilla y mantener relativamente estable la acumulación de tallo al final del verano.

## Literatura citada

Alcântara, F. A. D.; Neto, A. E. F.; Paula, M B D.; Mesquita, H A D. e Muniz, J. A. 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35(2):277–288.

<https://www.scielo.br/j/pab/a/NWGmFqjWwHMDJK6YtncqY5H/?format=pdf&lang=pt>

Alonso, E.; Igarzabal, A.; Oregui, L.M. y Mandaluniz, N. 2005. Estimación del contenido de nitrógeno

- en heces de rumiantes mediante espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS). Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural (Vol. I). XLV Reunión Científica de la SEEP (Sesión: Producción Animal). Gijón, Asturias, España: 89-96.  
<http://www.serida.org/seep2005/trabajos/libro.pdf>
- Bianco, L. and Cenzano, A. M. 2018. Native legumes: adaptive strategies and capacity for biological nitrogen fixation. Ecological implication. Idesia (Arica), 36(4):71-80.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002601>
- Broderick, G. A. 1995. Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. J. Anim.Sci. 73(9):2760-2773. [10.2527/1995.7392760x](https://doi.org/10.2527/1995.7392760x)
- Calderón De R., G. y Rzedowski, J. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México (2.<sup>a</sup> ed.). Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.  
[https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora\\_del\\_Valle\\_de\\_Mx1.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf)
- Coll, J. y Zarza, A. 1992. Leguminosas nativas promisorias: Trébol polimorfo y babosita (N.º 22). Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2719/1/111219240807154819.pdf>
- Fischler, M.; Wortmann, C. and Feil, B. 1999. *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. Field Crops Research, 61(2):97-107.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00150-6)
- Fuhlendorf, S.D. and Engle, D. M. 2001. Restoring Heterogeneity on Rangelands: Ecosystem Management Based on Evolutionary Grazing Patterns: We propose a paradigm that enhances heterogeneity instead of homogeneity to promote biological diversity and wildlife habitat on rangelands grazed by livestock. BioScience. 51 (8):625-632. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0625:RHOREM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0625:RHOREM]2.0.CO;2)
- Galindo-Pacheco, J.R. y Clavijo-Porras, J. 2009. Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. Revista Porcoipa-Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 10 (1):5-15.  
<http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/123>
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación köppen (Quinta Edición). Universidad

<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>

- Grace, J. L.; Rideout-Hanzak, S.; Stanko, R.; Acosta-Mart3nez, V.; Ortega S. J. A. and Wester, D. B. 2019. Soil seed bank characteristics in rangelands with increasing invasion of *Heteropogon contortus* or *Eragrostis lehmanniana*. Journal of Arid Environments 170 (2019):104009. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104009>
- Lindig-Cisneros, R. and Lara-Cabrera, S. 2004. Effect of scarification and growing media on seed germination of *Crotalaria pumila* (Ort.). Seed Science and Technology, 32(1):231–234. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.1.25>
- Manzanero-Medina, G. I.; V3squez-D3vila, M. A.; Lustre-S3nchez, H. and P3rez-Herrera, A. 2020. Ethnobotany of food plants (quelites) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico. South African Journal of Botany, 130:215–223. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.01.002>
- Pagano, M. C.; Lugo, M. N.; Soares De A., F.; Ferrero, M. A.; Menoyo, E. and Steinaker, D. F. 2012. Native species for restoration and conservation of biodiversity in South America. In Marin L. & Kovac D. (Eds), Native Species (pp. 1–55), Nova Science Publishers. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/135900>
- Rasmussen, J., Kusliene, G.; Jacobsen, O. S.; Kuzyakov, Y. and Eriksen, J. 2013. Bicarbonate as tracer for assimilated C and homogeneity of 14C and 15N distribution in plants by alternative labeling approaches. Plant Soil 371:191–198. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1660-x>
- Rodr3guez, A.A.; Crespo, M. and Randel, P.F. 2015. Effect of the physical form of tropical legumes *Cratylia arg3ntea* (desv.) kuntze, *Calliandra calothyrsus* meism. and *Leucaena leucocephala* (lam. de wit) on selective consumption by lambs J. Agric. Univ. P.R. 99(2):179-186. <https://revistas.upr.edu/index.php/jaupr/article/view/3033>
- SAS. 2011. Base SAS®9.3 Procedures Guide: Statistical Pro-cedures. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schlaepfer, M. A.; Sax, D. F. and Olden, J. D. 2011. The Potential Conservation Value of Non-Native Species. Conservation Biology, 25(3):428–437. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01646.x>
- Schrei, A. 2020. *Crotalaria longirostrata*. [https://www.academia.edu/43361980/Chipil%C3%ADn\\_Crotalaria\\_longirostrata](https://www.academia.edu/43361980/Chipil%C3%ADn_Crotalaria_longirostrata)

- United States Department of Agriculture (USDA). 2022. Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. Germplasm Resources Information Network (GRIN Taxonomy). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. <https://www.ars-grin.gov/>
- Vázquez Y., C.; Batis, M. A. I.; Alcocer, S. M. I.; Gual, D. M. y Sánchez D. C. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación (J-084). Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. [10.13140/RG.2.2.11004.54407](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11004.54407)
- Velasco-López, J.L.; Soto-Ortiz, R.; Ail-Catzim, C.E.; Juárez, O.; Avilés-Marín, S. M. y Lozano del Río, A. J. 2020. Rendimiento de biomasa y grano en variedades de triticale en el valle de Mexicali. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11 (5), 1097-1109. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342020000501097](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000501097)
- Vibrans, H. 2009. *Crotalaria pumila* Ort. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/crotalaria-pumila/fichas/ficha.htm>
- Witte, S., R., and J. S. Witte. 2015. *Statistics*. 10th edition. John Wiley & Sons. New York. 496 p.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

La producción de forrajes no solo debe enfocarse en obtener biomasa vegetal para alimentar al ganado. La búsqueda de beneficios ambientales brindados por especies forrajeras permite abrir un área de oportunidad en la investigación. Por otro lado, diversificar las opciones de especies vegetales utilizadas en una zona geográfica permite crear diversas estrategias de producción a lo largo del año que aseguren el abastecimiento de alimento para el ganado, proteger y restaurar suelos erosionados y, al añadir especies nativas, hacer un mejor uso de las plantas propias de la región. Las leguminosas anuales son una alternativa viable en las zonas templadas durante la época invernal debido a la disminución de forraje de algunas especies perennes. La investigación en forrajes puede orientarse al aprovechamiento de especies nativas; muchas de ellas pueden presentar características deseables en la producción forrajera.