



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

**DESEMPEÑO AGRONÓMICO DE CUATRO ESPECIES FORRAJERAS
CRECIDAS SOBRE UN SUELO DEGRADADO Y EN SECANO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

EFIGENIA GUADALUPE ESTEVANÉ GUZMÁN

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



APROBADA

Chapingo, Estado de México, junio de 2023



**DESEMPEÑO AGRONÓMICO DE CUATRO ESPECIES FORRAJERAS
CRECIDAS SOBRE UN SUELO DEGRADADO Y EN SECANO**

Tesis realizada por **EFIGENIA GUADALUPE ESTEVANÉ GUZMÁN**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

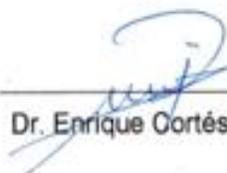
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



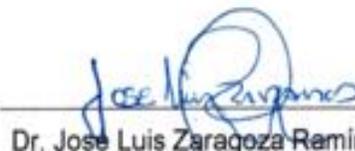
Ph.D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR:



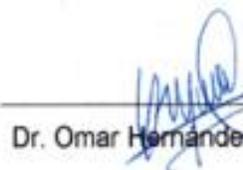
Dr. Enrique Cortés Díaz

ASESOR:



Dr. José Luis Zaragoza Ramírez

ASESOR:



Dr. Omar Hernández-Mendo

CONTENIDO

Lista de cuadros.....	iv
Lista de figuras.....	v
Agradecimientos	vi
Datos biográficos	vii
Resumen general.....	1
General abstract	2
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	3
Literatura citada.....	4
2. IMPACTOS POSITIVOS DEL CULTIVO DE FORRAJERAS PERENNES SOBRE LA SALUD DEL SUELO Y ALGUNAS CARACTERÍSTICAS PARA EVALUAR EL POTENCIAL FORRAJERO	6
2.1 Forrajeras e indicadores de características físicas del suelo.....	8
2.2 Forrajeras e indicadores de características químicas del suelo	10
2.3 Forrajeras e indicadores de características biológicas del suelo.....	12
2.4 Características agronómicas y zootécnicas para determinar el potencial forrajero	14
2.4.1 Tasa de acumulación de biomasa	16
2.4.2 Crecimiento e índice de área foliar	16
2.4.3 Eficiencia del uso del agua.....	17
2.4.4 Producción de nutrimentos por unidad de superficie.....	18
Literatura citada.....	19
3. DESEMPEÑO AGRONÓMICO DE CUATRO ESPECIES FORRAJERAS CRECIDAS SOBRE UN SUELO DEGRADADO Y EN SECANO	26
RESUMEN.....	26

AGRONOMIC PERFORMANCE OF FOUR FORAGE SPECIES GROWING ON A DEGRADED AND RAINFED SOIL.....	27
ABSTRACT	27
3.1 Introducción	28
3.2 Agronomía y zootecnia de las especies en evaluación	29
3.2.1 Veza coronada (<i>Securigera varia</i> (L.) Lassen)	29
3.2.2 Trébol carmesí o encarnado (<i>Trifolium incarnatum</i> L.).....	30
3.2.3 Dolichos o frijol jacinto (<i>Lablab purpureus</i>).....	32
3.2.4 Fleo o Timothy (<i>Phleum pratense</i> L.)	32
3.2.5 Triguillo Alto (<i>Thinopyrum ponticum</i> (Podp.) Barkworth y DR Dewey)	33
3.2.6 Tifton 68 (<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst).....	34
3.3 Materiales y métodos.....	36
3.3.1 Área de estudio	36
3.3.2 Descripción de la fase experimental.....	36
3.3.3 Análisis estadístico	41
3.4 Resultados y discusión	42
3.4.1 Condiciones climáticas	42
3.4.2. Dolichos.....	42
3.4.3. Tifton 68	47
3.4.3 Emergencia en cuatro especies y seis fechas.....	48
3.4.4. Supervivencia entre siembra directa y trasplante.....	49
3.5 Conclusión.....	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
3.1	Germinación (%) a 20 días de prueba en semillas de <i>Lablab purpureus</i> cultivado en secado y suelo pobre, agrupadas por tamaño de semilla.....	45
3.2	Rendimientos por componentes y total (kg ha ⁻¹), aporte proporcional (%) por componente al rendimiento en <i>Lablab purpureus</i> crecido a secano y en suelo pobre en Chapingo, México.....	46
3.3	Emergencia (%) en cuatro especies forrajeras a seis fechas después de la siembra en un suelo degradado en Chapingo, México.....	48
3.4	Supervivencia (%) a 49 días después de la siembra o trasplante de tres especies forrajeras en un suelo pobre en Chapingo, México.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Pág.
3.1	Temperatura media máxima, temperatura media mínima y precipitación total mensual durante los años 2021 y 2022 comparadas con los valores medios normales del periodo de 1968-2010. Datos reportados por la estación agrometeorológica de Montecillos, Texcoco, estado de México.....	43
3.2	Emergencia en <i>Lablab purpureus</i> a diferentes días después de la siembra en condiciones de secano y suelo degradado en Chapingo, México.....	43
3.3	Superficie colonizada por Tifton 68 crecido en secano y suelo pobre en Chapingo, México.....	47

AGRADECIMIENTOS

A los millones de mexicanos, que al pagar impuestos han hecho posible que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) haya financiado mi formación académica en el Posgrado en Producción Animal, del Departamento de Zootecnia en la Universidad Autónoma Chapingo.

A mis asesores, por trasmitirme los conocimientos necesarios para estar aquí. Especialmente al Dr. Pedro Arturo y al Dr. Omar, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada.

A mi esposo, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, sin su apoyo no habría logrado llegar hasta acá, y por eso, este trabajo es también el suyo.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Efigenia Guadalupe Estevané Guzmán
Fecha de nacimiento	21 de septiembre de 1992
Lugar de nacimiento	Miguel Auza, Zacatecas
CURP	EEGE920921MZSSZF08
Profesión	Ingeniera en Sistemas Agrícolas
Cédula Profesional	12917952

Desarrollo académico

Maestría en Ciencias (2021-2022)	Departamento de Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2011-2016)	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

DESEMPEÑO AGRONÓMICO DE CUATRO ESPECIES FORRAJERAS CRECIDAS SOBRE UN SUELO DEGRADADO Y EN SECANO ¹

El aumento en la productividad agrícola ha provocado que se ejerza una constante presión sobre la capacidad del suelo mantener sus funciones, generando una situación de deterioro de la salud de este y afectando negativamente a los cultivos que se desarrollan sobre él. Una alternativa para revertir dicho proceso es el cultivo de especies perennes forrajeras con un dosel vegetal que promueva efectos positivos sobre las funciones ecológicas del mismo, al tiempo que sea apto como alimento de animales de interés ganadero. Por este motivo, la investigación sobre forrajes debe contar con un abanico de información sobre la cual seleccionar especies forrajeras para ámbitos específicos. Para documentar el impacto positivo de las especies forrajeras perennes sobre la salud del suelo se realizó una amplia revisión de la literatura científica, la cual se complementa con la descripción de las características para calificar el potencial forrajero de las especies. Con el objetivo de generar información a partir de una investigación bibliográfica y de ensayos de campo sobre impactos y acercamientos de validación de especies forrajeras perennes, se evaluó el desempeño agronómico de seis especies forrajeras perennes sobre un suelo degradado y en secano, en un ambiente templado subhúmedo con más de 2,200 m sobre el nivel del mar, con inviernos e inicios de primaveras secos y con abundante radiación solar. Para este fin, se evaluó emergencia, colonización, rendimiento, supervivencia, posterior germinación de las semillas producidas por las especies, y se comparó la supervivencia/emergencia de dos métodos de siembra: siembra directa y trasplante. Se concluye que, para el área de estudio, la forma de introducción de estas especies al ambiente es importante, ya que el trasplante es la forma más efectiva en comparación de la siembra directa, aunque esto implica un mayor uso de mano de obra. Además, la especie Dolichos en las condiciones del área de estudio tiene potencial de adaptarse.

Palabras clave: desempeño agronómico, suelo degradado, secano, Tifton 68, Dolichos, Trébol encarnado, Timothy, Triguillo alto, Veza coronada.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Efigenia Guadalupe Estevané Guzmán
Director: Pedro Arturo Martínez Hernández

GENERAL ABSTRACT

AGRONOMIC PERFORMANCE OF FOUR FORAGE SPECIES GROWING ON A DEGRADED AND RAINFED SOIL ²

The increase in agricultural productivity has caused constant pressure to be exerted on the ability of the soil to support its functions, generating a situation of deterioration of its health and negatively affecting the crops grown on it. An alternative to reverse this process is cultivating perennial forage species with a plant canopy that promotes positive effects on their ecological functions while being suitable as food for animals of livestock interest. For this reason, forage research must have a range of information on which to select forage species for specific areas. An extensive review of the scientific literature was conducted to document the positive impact of perennial forage species on soil health, which is complemented by the description of the characteristics to qualify the forage potential of the species. To generate information from bibliographical research and field trials on the impacts and validation approaches of perennial forage species, the agronomic performance of six perennial forage species was evaluated on degraded and dryland soil, in a temperate environment, subhumid with more than 2,200 m above sea level, dry winters, early springs, and abundant solar radiation. For this purpose, emergence, colonization, yield, survival, and subsequent germination of the seeds produced by the species were evaluated, and the survival/emergence of two sowing methods was compared: direct sowing and transplanting. It is concluded that, for the study area, introducing these species to the environment is important. It is highlighted that transplantation is the most effective way compared to direct sowing; however, this implies a greater use of labor. In addition, the Dolichos species in the conditions of the study area has the potential to adapt.

Key words: agronomic performance, degraded soil, rainfed soil, Tifton 68, Dolichos, Crimson clover, Timothy, Tall wheatgrass, Crown vetch.

² Master Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Efigenia Guadalupe Estevané Guzmán

Advisor: Pedro Arturo Martínez Hernández

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El aumento en la productividad agrícola se ha basado en aplicación de altas dosis de fertilización, la aplicación de pesticidas, el riego mejorado, los regímenes de gestión del suelo y los cultivos, así como la conversión masiva de tierras (Tilman et al., 2002). Estas opciones para aumentar la productividad agrícola han ejercido una presión excesiva sobre la capacidad del suelo para mantener sus funciones, ocasionando degradación física, química o biológica. Bolaños et al. (2015) señalan que 74 % de la superficie de México sufre algún tipo de degradación del suelo y en el periodo entre 2005-2010 se abandonaron 4,200 ha de tierras agrícolas debido a la mala calidad del suelo (Bateman & Muñoz-Rojas, 2019).

En áreas de suelos degradados, una alternativa para detener y revertir este proceso es el cultivo de especies perennes forrajeras, que generan un dosel vegetal que al tiempo que promueve la regeneración del suelo produce alimento para el ganado, y desempeñan funciones ecológicas como proteger el suelo seco durante todo el año, reducir la exposición del mismo a factores erosivos y la fijación de carbono atmosférico en materia orgánica por un periodo de tiempo más largo que los cultivos anuales (Perreautl, 2022). Además, algunas especies forrajeras tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y ponerlo a disposición de las especies asociadas (Hernández, Olivares, Jiménez, & Hernández, 2005). Para lograr que las especies forrajeras perennes promuevan estos efectos positivos deben mostrar una alta tasa de acumulación de biomasa aérea y radical, capacidad de adaptarse al régimen de precipitación, baja combustibilidad, capacidad de captar/movilizar nutrientes y de auto-siembra (Hernández & Pastor, 2008).

Por tanto, la investigación en forrajes debe incluir la esfera de acción de validación en ambientes físicos, químicos y biológicos variados el comportamiento productivo de diferentes entradas de especies forrajeras perennes, para proporcionar un abanico de información sobre el cual seleccionar especies forrajeras para ámbitos específicos, que además de proveer alimento

para los animales de interés ganadero, ofrezcan un impacto ambiental regenerativo y de mitigación de efectos adversos, principalmente mediante proteger el suelo. Los ensayos de campo que sustentan este documento van encaminados a generar información para un ambiente templado subhúmedo con más de 2,200 m sobre el nivel del mar, invierno e inicios de primavera secos y abundante radiación ultravioleta (Tutiempo, 2022).

El documento se organiza en tres capítulos: el primero es esta introducción general; el segundo es una revisión bibliográfica del impacto positivo sobre la salud del suelo del dosel vegetal compuesto por especies perennes forrajeras y características para calificar el potencial forrajero de las especies, y el tercero comprende los resultados de ensayos de campo con especies forrajeras.

Con el desarrollo de estos tres capítulos se intenta cumplir con el objetivo general de generar información a partir de una investigación bibliográfica y de ensayos de campo sobre impactos y acercamientos de validación de especies forrajeras, como opción para generar un dosel vegetal que además de cubrir el suelo, provea alimento para animales de interés ganadero.

Literatura citada

- Bateman, A. M., & Muñoz-Rojas, M. (2019). Chapter one-To whom the burden of soil degradation and management concerns. In P. Pereira (Ed.), *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection* (pp. 1-22). Elsevier.
- Bolaños G., M. A., Paz P., F., Cruz G., C. O., Argumedo E., J. A., Romero B., V. M., & De la Cruz C., J. C. (2015). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *TERRA Latinoamericana*, 34, 271-288.
- Hernández R., S., Olivares P., J., Jiménez G., R., & Hernández C., E. (2005). Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. *REDVET, Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5).
- Hernández, A. J., & Pastor, J. (2008). La restauración en sistemas con suelos degradados: estudio de casos en agroecosistemas mediterráneos y taludes de carretera. In Millán, R., & Lobo, C. (Eds.), *Contaminación de Suelos: Tecnologías para su Recuperación* (pp. 545-564). Ed. CIEMAT, Madrid.

- Perreault G., M. (2022). *La performance agronomique de mélanges fourragers à base de luzerne selon la diversité des espèces et l'utilisation d'une plante-abri à l'implantation*. (Tesis de Maestría en Ciencias, Université LAVAL, Québec, Canadá) Disponible en: <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/cf41bff2-99f6-4684-a484-f37208dcd339/content>.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W. H., Simberloff, D., & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change, *Science*, 292(5515), 281-284.
- Tutiempo. (2022). Tutiempo.net. Madrid, España: *Índice ultravioleta en Texcoco de Mora*. Recuperado de: <https://www.tutiempo.net/indice-ultravioleta/texcoco-de-mora.html>

2. IMPACTOS POSITIVOS DEL CULTIVO DE FORRAJERAS PERENNES SOBRE LA SALUD DEL SUELO Y ALGUNAS CARACTERÍSTICAS PARA EVALUAR EL POTENCIAL FORRAJERO

Un suelo degradado implica que algunas o todas sus propiedades físicas, químicas o biológicas presentan cambios con respecto a las que originalmente tenía, estos cambios pueden originarse como resultado directo o indirecto de la aplicación de insumos externos o laboreo intenso del suelo; en consecuencia, la capacidad del suelo para generar cosechas se ve fuertemente reducida o totalmente anulada (Baumhardt, Stewart, & Sainju, 2015). Doran y Zeiss (2000), entre otros autores, introdujeron el concepto de salud del suelo, que describen como la capacidad del suelo para funcionar como un sistema vivo dentro de un ecosistema y territorio específicos, capaz de sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y aire, al tiempo que promueve la salud vegetal y animal. Un suelo degradado, por tanto, es aquél que ha perdido su estado de salud y con ello sus funciones ecosistémicas (Chang, Feng, Varum, Adeli, & Brooks, 2022; Muñoz, Ferreira, Escalante, & López, 2013).

La salud del suelo se conforma de características físicas, químicas y biológicas, entre ellas: la estructura del suelo, la porosidad y la infiltración, las cuales están estrechamente relacionadas con favorecer y permitir la máxima exploración radical, la humedad disponible a la cubierta vegetal, la cobertura del suelo, la acidez del suelo, la conductividad eléctrica y el aporte de nutrimentos al dosel vegetal (por ejemplo, N, P, K), así como con el contenido de materia orgánica, y la masa y diversidad microbiana entre otras (Allen, Singh, & Dalal, 2011).

Arshad y Martin (2002) enfatizan que la salud del suelo influye directa o indirectamente sobre la sustentabilidad ambiental, por lo que siempre se deben registrar los cambios, positivos o negativos, en los indicadores de la salud de este al evaluar protocolos de gestión en diferentes zonas agroecológicas. El rendimiento del cultivo puede ser un indicador integrador que marque la dirección

de los indicadores de la salud del suelo; sin embargo, no debe hacerse de lado la medición de éstos, ya que pueden mostrar cambios importantes en él, sin implicar cambios drásticos en el rendimiento del cultivo de un ciclo a otro.

Harris (2003) concluyó que el tamaño, composición y funcionamiento del ecosistema microbiano del suelo determina objetivamente el estado de salud y sirve para validar su mejoramiento, en respuesta a la aplicación de protocolos encaminados a la restauración de suelos degradados. García, Ramírez y Sánchez (2012) indicaron que la evaluación de protocolos de gestión agronómica de doseles vegetales no se debe limitar a registrar el rendimiento del cultivo, también debe incorporarse el seguimiento cuantitativo de indicadores de la salud del suelo como la riqueza y el funcionamiento de componentes bióticos del suelo.

Para esta revisión, los indicadores de la salud del suelo propuestos por Pizano y Curiel (2015) se tomaron en cuenta para determinar el impacto positivo de la cubierta de forrajeras perennes sobre la salud del suelo y se enlistan a continuación.

En el ámbito de características físicas del suelo están los indicadores asociados a favorecer dentro del perfil del suelo, la retención, transporte horizontal e infiltración del agua, transporte de minerales y químicos, afrontar los retos de erosión del suelo, mantener la estructura del suelo al tiempo que facilita la emergencia de plántulas y la expansión de la masa radical, y la resiliencia ante situaciones de contaminación; entre estos indicadores están: textura del suelo, densidad aparente, profundidad del suelo, estabilidad de agregados, infiltración y materia orgánica.

En la esfera de características químicas, están los indicadores asociados a favorecer la disponibilidad de nutrientes, absorción de pesticidas, actividad química y biológica del suelo, estructura del suelo, tasa de infiltración del agua, fertilidad del suelo y potencial productivo; entre estos indicadores están: pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Para el área de la biología del suelo, que la consideran como un área emergente en el estudio, investigación y gestión del suelo, proponen indicadores asociados a promover el potencial catalizador microbiano y reposición de carbono y nitrógeno, integridad y función biológica del suelo, el ciclaje y disponibilidad de nutrimentos para fomentar la productividad del suelo y aporte de nitrógeno; para estas funciones positivas del suelo sugieren los indicadores: biomasa microbiana, biodiversidad de la comunidad microbiana, actividad enzimática en el suelo, nitrógeno aportado, respiración en el suelo y productividad, y resiliencia de los cultivos.

Recientemente, Teshome et al. (2023) enfatizan la necesidad de compendiar las características al evaluar una o varias especies herbácea o leñosas como fuentes de forraje en el momento oportuno y en combinación con otras especies. En la revisión presente se presentan algunas de estas características que han sido usadas para la evaluación del potencial forrajero de las especies.

2.1 Forrajeras e indicadores de características físicas del suelo

Un suelo con pobre salud física muestra con respecto a su estado original, un menor aporte de espacio poroso, baja estabilidad de agregados, encostramiento y sellado (Hernández et al., 2019), condiciones que impiden el intercambio de gases y agua, lo que afecta negativamente la capacidad de trasmisión de fluidos, el volumen de almacenaje y modifica el balance adecuado de agua y gases, por lo que se limita la capacidad de disolver los nutrimentos demandados por las plantas y los microorganismos (Topp et al., 1997). Otro componente que atenta contra la salud física del suelo es la erosión, por su impacto destructivo (Torres et al., 2003) y la lenta tasa de formación de suelo, cualquier pérdida mayor a $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ puede considerarse irreversible dentro de un período de 50 a 100 años (Jones, Hiederer, Rusco, Loveland, & Montanarella, 2004).

Desatender la salud física del suelo puede implicar una drástica reducción en la productividad agrícola potencial del mismo (Van Der Knijff et al., 2000). Francisco-Nicolás, Turrent-Fernández, Oropeza-Mota, Martínez-Menes y Cortés-

Flores (2006) registraron una disminución continua en la cantidad de grano de maíz cosechado, conforme la superficie mostró una pérdida de suelo por erosión. Pérez-Nieto et al. (1998) encontraron que el impacto negativo de la erosión sobre el rendimiento de grano de maíz dependió del tipo de suelo; ellos registraron una tasa de disminución de 3.4 a 70 kg ha⁻¹ año⁻¹, para los tipos de suelo Faeozem y Leptosol, respectivamente. La tasa de reducción en rendimiento de grano de maíz con respecto del rendimiento original varió de 14 a 39 %, si la erosión fue de leve a severa, respectivamente (Kilasara et al., 1996).

En México, 76, 5.7 y 9.5 % la superficie nacional presenta algún grado de erosión hídrica, eólica o degradación física, respectivamente (Bolaños et al., 2016). Bateman y Muñoz-Rojas (2019) indican que de 2005 a 2010, en México se abandonaron 4,200 ha de tierras agrícolas por la pobre salud del suelo.

Evitar y en su caso mitigar la pérdida de la salud física del suelo, se vuelve una situación de importancia. Congreves, Hayes, Verhallen y Van Eerd (2015), en un clima templado húmedo, registraron pobre estabilidad de agregados y materia orgánica en el suelo con laboreo tradicional, en comparación con labranza cero; sin embargo, los indicadores fueron similares al agregar la rotación de cultivos a la gestión del suelo. La rotación de maíz-soya-alfalfa-trigo de invierno sobresembrado con trébol rojo, independientemente del tipo de laboreo, promovió un suelo con mayor estabilidad de agregados y materia orgánica, además de una mayor actividad de lombrices, en comparación a otras rotaciones o monocultivo de maíz o soya. Concluyeron los autores que las forrajeras en un esquema de rotación de cultivos son una opción para mantener o mejorar la salud del suelo.

En una condición de clima tropical, intersembrar gramíneas o leguminosas forrajeras perennes en un cultivo de maíz, favoreció la infiltración dentro del perfil del suelo a través de promover una mayor macro-porosidad y mejor densidad aparente, sin mejorar o reducir el rendimiento de grano de maíz en el primer año de prueba; por lo anterior se concluyó que la incorporación de forrajeras perennes

es una opción para la mejora en el corto plazo de algunas características físicas y la salud del suelo, y quizás en el largo plazo una mejora también en la productividad del suelo y en la resiliencia de cultivos agrícolas (Alves dos Santos, et al., 2018).

El impacto positivo sobre características físicas del suelo por cubrirlo con forrajeras perennes puede aumentarse si el dosel se compone de especies con patrones de exploración radical contrastante. Luego de cuatro años de seguimiento a la aplicación de abonos orgánicos, la pradera compuesta de fleo-trébol rojo mostró una mayor ganancia en carbono orgánico en el suelo que la pradera solo conformada por fleo (Lynch, Voroneyb, & Warmanc, 2005).

Al cubrir el suelo con un dosel vegetal perenne forrajero para mantener o mejorar las características físicas del suelo y con ello el estado de salud de éste, a las forrajeras herbáceas conviene agregar leñosas forrajeras o no, para dar un contraste importante en la exploración del suelo por la masa radical. De Lima et al. (2022) registraron mejor estabilidad de agregados, menor compactación, mayor porosidad y acumulación de carbono orgánico en el perfil del suelo cuando la cubierta vegetal contenía especies forestales y herbáceas perennes en comparación a cubiertas vegetales conformadas solamente por alguna gramínea tropical.

2.2 Forrajeras e indicadores de características químicas del suelo

La pérdida de salud en las características químicas del suelo está relacionada con la contaminación, salinización, acidificación, pérdida o distribución irregular de los nutrientes dentro del perfil del suelo (Muñoz, Ferreira, Escalante, & López, 2013). Estos procesos afectan directamente la fertilidad y capacidad productiva de los suelos, e intervienen en la pérdida de materia orgánica y de nutrientes (Estrada, 2016).

Plückers et al. (2013) indicaron que, en un plan de recuperación de un suelo seco con pobre disponibilidad de nutrientes por un uso agrícola intenso, el establecer

una combinación de forrajeras perennes ocasionó un efecto pionero que permitió, luego de cuatro años del establecimiento de una comunidad vegetal, estabilidad y gran diversidad. Este efecto positivo lo explican parcialmente los autores con base en una mejoría en características de disponibilidad de nutrientes químicos.

La recuperación de la productividad de un suelo luego de mantener un dosel vegetal compuesto por varias especies forrajeras perennes se ha explicado por la posibilidad de un efecto de complementación mutua, esto resulta en una masa radical compleja con mayor capacidad para un uso más completo de los recursos del suelo (Bonin & Tracy, 2012).

El establecimiento de *Lolium perenne* L, una gramínea, con *Trifolium pratense* L., una leguminosa, sobre un suelo con pérdida en su capacidad productiva por un excesivo uso agrícola, incrementó su rendimiento total en 10 a 21 %, al incluirse *Plantago lanceolata* L., una herbácea, debido a que esta última especie tuvo un efecto complementario en el uso de los recursos del suelo promovidos por la asociación forrajera, en particular la incorporación de nitrógeno a través de la leguminosa. Concluyeron los autores que las forrajeras perennes en el proceso de mejora de la productividad de un suelo pueden ser acompañadas por otras herbáceas que no tan solo fomentan un mayor rendimiento sino un mejor uso de los recursos del suelo (Cong, Suter, Lüscher, & Eriksen, 2018).

Con base en la experiencia de incorporar trébol rojo a una asociación de forrajeras, Lindström et al. (2014) concluyeron que al definir las especies forrajeras perennes para conformar una asociación para la rehabilitación de un suelo, siempre procurar la inclusión de al menos una leguminosa, ya que además de la capacidad de las leguminosas de introducir nitrógeno al sistema pueden generar un forraje más rico en micronutrientes, lo que podría favorecer un mejor estado alimenticio de los animales.

Suelos con una cobertura vegetal de pradera conformada por variedad de especies y bajo diferente manejo de aprovechamiento registró un

enriquecimiento en el suelo del contenido de nitrógeno y de carbón, sin embargo, la magnitud de este enriquecimiento dependió del manejo de aprovechamiento. Este enriquecimiento se consideró positivo para el mantenimiento o mejora de la salud del suelo y que la cobertura vegetal de pradera permanente tiene cierta plasticidad para amortiguar efectos de diferentes acercamientos para el aprovechamiento del forraje (Van Vooren et al., 2018).

Bainard et al. (2020) indican que suelos con una cobertura de especies forrajeras perennes presentaron pocos y reducidos cambios en las características químicas; sin embargo, se registraron en el corto plazo cambios en las comunidades microbianas del suelo que mediaron los cambios en las características químicas, por lo que concluyeron que, en algunos suelos, el impacto positivo sobre características del mismo al mantener una cobertura con forrajeras perennes está mediado por cambios en las comunidades microbianas.

Las comunidades microbianas son responsables de las transformaciones de los residuos vegetales y animales que entran al suelo como residuos orgánicos, liberando los nutrientes para las plantas y moléculas orgánicas que actúan como material de agregación de las partículas elementales y los agregados del suelo (Estrada, 2016).

2.3 Forrajeras e indicadores de características biológicas del suelo

Con base en varios estudios que comparan el suelo con y sin cobertura de un dosel vegetal herbáceo en la época en que el ciclo de cultivo no se encuentra en crecimiento vigoroso apuntan que el suelo con cobertura incrementa en promedio 27, 22 y 2.5 % la abundancia, la actividad y la diversidad de las comunidades microbianas en comparación con el suelo sin cobertura. Sin embargo, estos efectos benéficos pueden verse limitados por uso de agroquímicos, especies vegetales usadas y su manejo, laboreo cero o mínimo y clima muy secos o fríos, por lo que se debe evaluar esta práctica de cobertura, su composición de especies entre ellas las forrajeras y manejo bajo diferentes condiciones y prácticas agronómicas (Kim, Zabaloy, Guan, & Villamil, 2020).

El suelo con rotación de soya o de soya-maíz con avena-veza mostró 6.8, 20 y 43 %, mayor población bacteriana, actividad de enzimas del suelo y nitrógeno, respectivamente, en comparación al suelo sin la rotación. Los autores concluyeron que la rotación de cultivos con especies forrajeras es una opción tecnológica para mantener y aun mejorar aspectos relacionados con la fertilidad del suelo (Chavarría et al., 2016). El suelo con alfalfa en rotación con cultivos anuales mostró mayor cantidad de lombrices en comparación al suelo sin rotación; las raíces, cobertura del suelo e incorporación de nitrógeno por la alfalfa fueron factores que influyeron en esta respuesta, por tanto, para el mantenimiento y mejora de la salud biológica del suelo debe planificarse en la rotación de cultivos la incorporación de alguna forrajera de preferencia una leguminosa (Congreves, Hayes, Verhallen, & Van Eerd, 2015).

La mejoría en la salud del suelo al efecto directo de las forrajeras puede sumarse uno indirecto al cosechar el forraje por pastoreo. Simon et al. (2021) proponen que la cosecha por pastoreo contribuye al reciclado de nutrientes a través del estiércol y orina, ambos pueden favorecer la estructura de las comunidades microbianas y de macrofauna, así como la actividad de enzimas del suelo, por lo que la cosecha por pastoreo conviene incluirla como un componente de la gestión de forrajeras para mejorar o mantener la salud biológica del suelo. Song, Wang, He y Chi (2023) confirmaron que el pastoreo puede incrementar el efecto positivo sobre la biología del suelo de una cobertura con forrajeras perennes, el suelo de una pradera de *Lolium perenne-Dactylis glomerata-Trifolium repens* mostró mayor actividad enzimática cuando las forrajeras fueron pastoreadas en comparación a la cosecha mecánica.

Abdalla et al. (2019) indican que al establecer forrajeras para mejorar la salud de un suelo entre ellas debe incluirse al menos una leguminosa en compañía de no-leguminosas para promover una biología del suelo conducente a la incorporación de nitrógeno al suelo, en particular la simbiosis leguminosa-*Rizobium*. Ghimire et al. (2019) coinciden en resaltar que algunas especies forrajeras tienen el potencial de lograr una mayor mejoría en los indicadores de salud y resiliencia

de los suelos en comparación a otras. La avena en compañía con diferentes leguminosas anuales favoreció valores mayores en los indicadores de salud y resiliencia de un suelo en condiciones semiáridas y apoyo de riego en comparación a otras gramíneas o leguminosas solas.

El uso de cultivos forrajeros anuales en regiones semiáridas donde se usa el ciclo cultivo-descanso es una opción tecnológica y económica si el rendimiento de forraje es alto y el costo de semilla bajo, para lograr un rendimiento de forraje alto un aspecto a cuidar es la biología del suelo y por tanto que la especie forrajera sea una promotora de esa biología (Holman et al., 2018). La evaluación de la conveniencia ambiental de establecer forrajeras perennes debe incluir la medición de los cambios en la comunidad biológica del suelo: invertebrados, artrópodos, anélidos, nematodos, moluscos, protozoarios, bacterias, actinomicetos, hongos, micorrizas y algas (García, Ramírez, & Sánchez, 2012).

En ambientes semiáridos, la rotación cultivo-descanso muestra dos debilidades: 1) la superficie en descanso no genera ingreso al productor y 2) a través de los años la superficie en el descanso se invade por especies espontáneas resistentes a herbicidas y la labranza. Ante este escenario Obour et al. (2021) validan establecer forrajeras en la superficie en descanso, porque además de contrarrestar lo mencionado, promueven suelos de mayor fertilidad por contar con mayor carbono orgánico y biología del suelo.

2.4 Características agronómicas y zootécnicas para determinar el potencial forrajero

De acuerdo a diversos autores, las características agronómicas son aquellas relacionadas al crecimiento, desarrollo y producción de las plantas, por ejemplo, la altura de la planta, los días a floración y a madurez después de la siembra, los días a cosecha, la producción, la incidencia de plagas, la tolerancia a sequía, entre otras (Cieza, Jara, Terrones, Figueroa, & Valderas, 2020; Peña, Núñez, & González, 2002; Williams-Alanís, Zavala-García, Arcos-Cavazos, Rodríguez-Vázquez, & Olivares-Sáenz, 2017); las cuales permiten comprender la influencia

de las condiciones ambientales sobre el establecimiento de la especie. Mientras que, las características zootécnicas son las que definen que esa especie tiene función como forraje, entre otras características están: concentración de nutrientes (proteína cruda, fibras, energía), digestibilidad, apetencia, estabilidad en la producción de materia seca, relación hoja/tallo (Núñez, Contreras, Faz, 2003; Núñez et al., 2010; Santacoloma-Varón, Granados-Moreno, & Aguirre-Forero, 2017). Al considerar ambas características, agronómicas y zootécnicas, es posible determinar el potencial forrajero de una especie.

Este concepto ha sido utilizado desde hace algunos años y, prácticamente, cada investigador le da un enfoque, por ejemplo, para Pérez, Rodríguez y Zapata (2004) el potencial forrajero se asocia a características como el rendimiento, el contenido de nutrientes, el consumo y su efecto sobre los parámetros productivos del animal, que los niveles de compuestos secundarios de la especie no afecten el consumo, que sea una especie tolerante a la poda y mantenga adecuados niveles producción de biomasa durante el año. Mientras que, Gallegos-Castro, Mahecha-Ledesma y Angulo-Ariza (2014) mencionan que las cualidades requeridas son: una producción aproximada de 55 toneladas de materia seca por hectárea por año, que sea un cultivo de fácil establecimiento, resistente al corte frecuente, y tolerante a suelos pobres. Sin embargo, Álvarez (2017) destaca que el potencial forrajero de una especie incluye características como: 1) alto valor nutritivo; 2) cultivo de fácil establecimiento; 3) estabilidad de la producción de forraje; 5) buena palatabilidad o apetencia; 6) adaptación a factores particulares (inundación, corte, conservación, etc.); 7) ausencia de sustancias tóxicas o anti-nutricionales; 8) índice de área foliar elevado; 9) alta proporción de vástagos con relación a tallos; 10) tolerancia a condiciones adversas; y, 11) periodo vegetativo largo.

A continuación, se describirán brevemente las características más relevantes.

2.4.1 Tasa de acumulación de biomasa

El rendimiento de un cultivo está dado por su capacidad de acumular biomasa como materia fresca y seca en los órganos que se destinan a la cosecha (Barrientos, Del Castillo, & García, 2015). Sin embargo, la acumulación y distribución de la biomasa es una característica genotípica fácilmente afectada por el ambiente y su interacción con factores como la radiación solar, temperatura, disponibilidad de agua, fertilidad del suelo y presión de enfermedades, plagas y malezas (Váscones, Caicedo, Véliz, & Sánchez, 2016).

Por lo tanto, la producción de biomasa es particular de cada especie y para cada uno de los agroecosistemas, además de ser muy dinámica en las diferentes épocas del año (Barrientos, Del Castillo, & García, 2015), por ejemplo, Velasco-Zebadúa, Hernández-Garay, González-Hernández, Pérez-Peréz, y Vaquera-Huerta (2002) consignan que la acumulación de materia seca del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en primavera de 1983 kg MS ha⁻¹, significó 16, 39 y 63 % más a la registrada en verano, otoño e invierno, respectivamente.

La biomasa acumulada por un cultivo durante su ciclo refleja la marcha del ritmo de crecimiento de éste durante ese periodo, y el valor de dicho ritmo depende del balance del carbono fijado por el cultivo y aquel desprendido por respiración, por lo que existe una relación curvilínea entre el ritmo de crecimiento y el índice de área foliar (Hall, 1980).

2.4.2 Crecimiento e índice de área foliar

El índice de área foliar tiene una estrecha relación con la interceptación de la radiación solar, asociada con la fotosíntesis y con la transpiración, por lo que está vinculada con la acumulación de biomasa y la productividad (Mendoza-Pérez, Ramírez-Ayala, Ojeda-Bustamante, & Flores-Magdaleno, 2020); lo que hace que este índice sea considerado una variable fundamental en la evaluación del desarrollo y crecimiento de un cultivo.

El crecimiento del forraje puede ser definido como la dinámica de generación y expansión de órganos de la planta, el incremento de forraje en peso seco por unidad de superficie por tiempo se conoce como tasa de crecimiento del forraje, y se expresa en kg de MS ha⁻¹ día⁻¹ (Briske, 1991). Los forrajes tienen diferentes tasas de crecimiento, dependiendo de las condiciones climáticas, estructura del tejido foliar (hojas, tallos y tejido senescente), disponibilidad de nutrientes, altura residual después del corte o pastoreo, etapa fenológica y otros factores de manejo (Belesky & Fedders, 1994). La temperatura y precipitación son los elementos del clima que limitan el potencial productivo de las praderas en condiciones de temporal (Gutiérrez, 2015).

Hernández (2012) clasifica el crecimiento del forraje en tres fases: en la primera las plantas tienen pocas hojas y realizan menos fotosíntesis, su desarrollo es lento y tienen que utilizar parte de las sustancias almacenadas de reserva; en la segunda, las plantas tienen más hojas, su crecimiento es rápido, la fotosíntesis es mayor, lo que permite almacenar sustancia de reserva; y en la tercera, la fotosíntesis disminuye debido al efecto pantalla de las hojas superiores y se suma que la energía capturada se destina a la floración y formación de semillas (Rayburn, 1993).

Beltrán-López et al. (2005) indican que el efecto inmediato de una cosecha es la reducción del área foliar, y, por tanto, de la cantidad de luz interceptada, lo que provoca que la planta haga cambios en la economía del carbono y nitrógeno, en función de la proporción del área removida y la capacidad fotosintética del tejido foliar remanente. Por ende, la acumulación de forraje disminuye conforme aumenta la frecuencia de cosecha.

2.4.3 Eficiencia del uso del agua

La disponibilidad de agua en el suelo es una limitante en la producción de forraje, incluso, en condiciones de déficit hídrico, en las plantas ocurren cambios morfológicos y fisiológicos para disminuir la pérdida de agua y mejorar la eficiencia de su uso (Gutiérrez, 2015). Las hojas son altamente sensibles al déficit

de agua, generando una disminución del área foliar, menor tasa de crecimiento foliar, tasa de aparición de tallos, y se favorece la senescencia de otras hojas, y como consecuencia la pérdida de hojas activas (Hall, 1993).

Ante el escenario de limitaciones a la disponibilidad de agua, hay mayor interés por lograr la mayor eficiencia del uso del agua mediante calcular el rendimiento del cultivo y el agua recibida ya sea por riego, o lluvia (Almarshadl & Ismail, 2011); específicamente, la relación de materia seca y proteína cruda producidos por unidad de área por metro cúbico de agua aplicado (Sánchez, Servin, Gutiérrez, & Serna, 2017). Montemayor et al. (2006) compararon la eficiencia del uso del agua en maíz forrajero de dos sistemas de riego: cintilla a 35 y 45 cm de profundidad contra el riego por gravedad en surcos, y encontraron que el riego por cintilla a 35 o 45 cm, implicó una reducción de 28 % en la lámina de riego comparado con el sistema de riego por gravedad.

Sánchez et al. (2017) encontraron en cinco variedades de alfalfa que el riego por goteo sub-superficial mostró la máxima eficiencia del uso del agua para materia seca y proteína cruda con 2.44 y 0.51 kg m⁻³ de agua aplicada, respectivamente con una reducción del 44 % en la lámina de riego con respecto del riego por inundación. Los autores concluyeron que las prácticas de producción pueden determinar desempeños agronómicos independientemente de la especie o variedad.

2.4.4 Producción de nutrientes por unidad de superficie

La composición nutricional de los forrajes es importante debido a que los forrajes son la principal fuente de alimentación de los rumiantes y por tanto no solo determinan la productividad de la empresa pecuaria, sino también el costo de producción (Capstaff & Miller, 2018), por lo que Reynlods (2000) enfatizó que en la evaluación forrajera se deba contemplar los rendimientos de nutrientes por unidad de superficie y tiempo para incorporar a la producción comercial forrajes que aporten nutrientes a las empresas pecuarias a un costo mínimo.

Atumo et al. (2021) indican que si el ganado rumiante es provisto de forraje en cantidad y calidad puede esperarse lograr productos pecuarios de mejor calidad, en mayor cantidad y a precios accesibles, por lo que es necesario al evaluar especies o variedades forrajeras incluir el rendimiento de nutrimentos por superficie, ellos al comparar seis variedades de alfalfa encontraron diferencias de hasta 21 % en el rendimiento de proteína por hectárea.

Soe-Htet et al. (2021) encontraron que al intersembrar soya en maíz para ensilar, se redujo el rendimiento total de forraje, pero con más de cuatro unidades porcentuales de proteína cruda en comparación al forraje del cultivo monófito de maíz. La ganancia en la concentración de proteína cruda compensó por el menor rendimiento de forraje por la intersemebra de soya, en comparación al maíz monófito. Los autores, por tanto, concluyeron que con base a rendimiento de proteína cruda por hectárea conviene la práctica de intersembrar soya en el maíz para ensilar.

Al darle seguimiento al desempeño agronómico de diferentes combinaciones de forrajeras herbáceas, la máxima mejoría en rendimiento total de forraje no superó el 35 % del más alto al más bajo desempeño; mientras que esta mejoría fue de 42 y 70 % en los rendimientos de proteína cruda y materia seca digestible, respectivamente, por lo que se indicó que en la evaluación del potencial forrajero de especies debe incluirse el rendimiento de nutrimentos por hectárea (Zhang et al., 2015).

Literatura citada

- Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R. M., & Smith, P. (2019). A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Glob Change Biology*, 25, 2530–2543.
- Allen, D. E., Singh, B. P., & Dalal, R. C. (2011). Soil Health Indicators Under Climate Change: A Review of Current Knowledge. In Singh, B.P., Cowie, A.L., & Chan, K.Y. (Eds.). *Soil Health and Climate Change*. Springer New York. (pp. 22-45). Berlin, Heidelberg.

- Almarshadl, M. H., & Ismail, S. M. (2011). Effects of precision Irrigation on productivity and water use efficiency of alfalfa under different irrigation methods in arid climates. *Journal of Applied Sciences Research*, 7(3), 299-308.
- Álvarez R., R. C. (2017). *Rendimiento y calidad del forraje de cuatro especies cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento y dos niveles de nitrógeno en el valle de Toluca*. (Tesis profesional, Universidad Autónoma del Estado de México). Consultado en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/71027/Tesis%20Roberto%20Carlos%20Alvarez%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Alves dos Santos, P. R., Chioderoli, C. A., da Silva, A. O., Nicolau, F. E. A., Lopes, J. E. L., Amorim, M. Q., & Mendonça, C. A. (2018). Physical Attributes of the Soil and Maize Productivity Under an Intercrop System. *Journal of Agricultural Science*, 10(12), 358-365.
- Arshad, M. A., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 88, 153-160.
- Atumo, T. T., Kauffman, R., Talore, D. G., Abera, M., Tesfaye, T., Tunkala, B. Z., Zeleke, M., & Kalsa, G. K. (2021). Adaptability, forage yield and nutritional quality of alfalfa (*Medicago sativa*) genotypes. *Sustainable Environment*, 7(1), 1895475.
- Bainard, L. D., Evans, B., Malis, E., Yang, T., & Bainard, J. D. (2020). Influence of annual plant diversity on forage productivity and nutrition, soil chemistry, and soil microbial communities. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(560479), 1-13.
- Barrientos Ll., H., del Castillo G., C. R., & García C., M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y traslocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 7-18.
- Bateman, A. M., & Muñoz-Rojas, M. (2019). Chapter one - To whom the burden of soil degradation and management concerns. In P. Pereira (Ed.), *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection* (pp. 1-22).
- Baumhardt, R., Stewart, B., & Sainju, U. (2015). North american soil degradation: processes, practices, and mitigating strategies. *Sustainability*, 7(3), 2936-2960.
- Belesky, D. P., & Fedders, J. M. (1994). Defoliation effects on seasonal production and growth rate of cool-season grasses. *Agronomy Journal*. 86, 38-45.
- Beltrán-López, S., Hernández-Garay, A., García-Moya, E., Pérez-Pérez, J., Kohashi-Shibata, J., Herrera-Haro, J.G., Quero-Carrillo, A., & González-

- Múñoz, S. (2005). Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia*, 39, 137-147.
- Bolaños G., M. A., Paz P., F., Cruz G., C. O., Argumedo E., J. A., Romero B., V. M., & De la Cruz C., J. C. (2015). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *TERRA Latinoamericana*, 34, 271-288.
- Bonin, C. L., & Tracy, B. F. (2012). Diversity influences forage yield and stability in perennial prairie plant mixtures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 162,1–7.
- Borrajó, C. I., Sánchez-Moreiras, A. M., & Reigosa, M. J. (2022). Ecophysiological responses of tall wheatgrass germplasm to drought and salinity. *Plants*, 11, 1548, 2-24.
- Briske, D. D. (1991). Developmental morphology and physiology of grasses. In R. K. Heitschmidt, & J. W. Stuth (Eds.). *Grazing management: an ecological perspective* (pp.11-26). Portland, Oregon, USA :Timber Press.
- Capstaff, N. M., & Miller, A. J. (2018). Improving the yield and nutritional quality of forage crops. *Frontiers in Plant Science*, 9 (535), 1-18.
- Chang, T., Feng, G., Varun P., Adeli, A., & Brooks, J. P. (2022). Chapter three- Soil health assessment methods: Progress, applications and comparison. In Sparks, D. L. (ed.). *Advances in Agronomy* (pp.129-210). San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Chavarría, D. N., Verdenelli, R. A., Serri, D. L., Restovich, S. V., Andriulo, A. E., Meriles, J. M., & Vargas-Gil, S. (2016). Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European Journal of Soil Biology*, 76, 74-82.
- Christensen, M. (1989). A view of fungal ecology. *Mycologia*, 81, 1-19.
- Cieza R., I., Jara C., T. W., Terrones M., R., Figueroa C., Y., & Valdera C., A. (2020). Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (*Zea mays*). *Manglar*, 17(3), 261-267.
- Cong, W. F., Suter, M., Lüscher, A., & Eriksen, J. (2018). Species interactions between forbs and grass-clover contribute to yield gains and weed suppression in forage grassland mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 154-161.
- Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, E. A., & Van Eerd, L. L. (2015). Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. *Soil & Tillage Research*, 152, 17-28.
- de Lima, A. F. L., Campos, M. C. C., Enck, B. F., Simões, W. S., de Araújo, R. M., dos Santos, L. A. C., & da Cunha, J. M. (2022). Physical soil attributes

- in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. *Environ Monit Assess*, 194, 34.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15, 3–11.
- Estrada H., I. del A. (2016). *Alternativas de recuperación de la fertilidad de suelos degradados en la Mixteca alta de Oaxaca*. (Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México). Consultada en: http://193.122.196.39:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4139/Estrada_Herrera_IR_DC_Edafologia_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FAO. (2015). Healthy soils are basis for healthy food production. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/645883cd-ba28-4b16-a7b8-34babbb3c505/> (consultado el 4 de abril de 2022).
- Francisco-Nicolás, N., Turrent-Fernández, A., Oropeza-Mota, J. L., Martínez-Menes, M. R., & Cortés-Flores, J. I. (2006). Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo, *Revista TERRA Latinoamericana*, 24(2), 253-260.
- Gallegos-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Ariza, J. (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Grey en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 393-403.
- García Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35, 125–138.
- Ghimire, R., Ghimire, B., Mesbah, A. O., Sainju, U. M., & Idowu, O. J. (2019). Soil health response of cover crops in winter wheat–fallow system. *Agronomy Journal*, 111 (4), 2108-2115.
- Gutiérrez A., A. F. (2015). *Dinámica de crecimiento de la asociación de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) bajo condiciones de pastoreo*. (Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México). Disponible en: http://193.122.196.39:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2814/Guterrez_Arenas_AF_MC_Ganaderia_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hall, A. J. (1980). Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. *Rev. Facultad de Agronomía*, 1(1), 73-86.
- Harris, J. A. (2003). Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science*, 54, 801-808.
- Hernández S., J. M. D., Fernández R., D. S., Martínez M., M. R., Figueroa S., B., Rubio G., E., & García R., J. L. (2019). Evaluación de la estabilidad de taludes en cárcavas, Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana*, 37, 303-313.

- Holman, J. D., Arnet, K., Dille, J., Maxwell, S., Obour, A., Tom Roberts, T., Roozeboom, K., & Alan Schlegel, A. (2018). Can Cover or Forage Crops Replace Fallow in the Semiarid Central Great Plains? *Crop Science*, 58, 932–944.
- Jones, R. J. A., Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P. J., & Montanarella, L. (2004). The map of organic carbon in topsoils in Europe, version 1.2. No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Kilasara, M., Kullaya. I., Kaihura, F. B., Singh, B. R., Lal, R., & Aune, J. B. (1996). Topsoil thickness effects on soil properties and maize (*Zea mays*) yield in three ecoregions of Tanzania. *Journal of Sustainable Agriculture*, 9, 11-30.
- Kim, N., Zabaloy, M. C., Kaiyu Guan, K., & Villamil, M. B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry*, 142 (107701), 1-14.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895.
- Lindström, B. E. M., Frankow-Lindberg, B. E., Dahlin, A. S., Watson, C. A., & Wivstad, M. (2014). Red clover increases micronutrient concentrations in forage mixtures. *Field Crops Research*, 169, 99-106.
- Lynch, D. H., Voroney, R. P., & Warmanc, P. R. (2005). Soil physical properties and organic matter fractions under forages receiving composts, manure or fertilizer. *Compost Science & Utilization*, 13, 252-261.
- Matías R., M., Gómez D., J. D., Monterroso R., A. I., Uribe G., M., Villar H., B. de J., Ruíz G., P., Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en el bosque templado, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 51-70.
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W., & Flores-Magdaleno, H. (2017). Estimación de índice de área foliar y rendimiento de chile poblano cultivado en invernadero. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 9(1), 37-50.
- Morón, A. (2009). Estimaciones del impacto de la agricultura y la ganadería en el suelo de Uruguay. En: *Efectos de la Agricultura, Lechería, y la Ganadería en el recurso natural Suelo: impactos y Propuestas*. Montevideo, Uruguay: INIA.
- Muñoz I., D. J., Ferreira R., M., Escalante A., I. B., & López G., J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en la region semiárida. *TERRA Latinoamericana*, 31(3), 201-210.
- Núñez H., G., Contreras G., E. F., & Faz C., R. (2003). Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Técnica Pecuaria en México*, 41(1), 37-48.

- Núñez H., G., Payán G., J. A., Pena R., A., González C., F., Ruiz B., O., & Arzola A., C. (2010). Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la region del norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 85-98.
- Obour, A. K., Simon, L. M., Holman, J. D., Carr, P. M., Schipanski, M., Fonte, S., Ghimire, R., Nleya, T., & Blanco-Canqui, H. (2021). Cover crops to improve soil health in the North American Great Plains. *Agronomy Journal*, 113, 4590-4604.
- Peña R., Núñez H, G., & González C., F. (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Técnica Pecuaria en México*, 40(3), 215-228.
- Pérez-Nieto, J., Volke-Haller, V., Martínez-Menes, M., & Estrella-Chulín, N. (1998). Erosión, productividad y rentabilidad de dos suelos del estado de Oaxaca. *Agrociencia*, 32, 113-118.
- Pizano, C., & Curiel, J. Y. (2015). El monitoreo del suelo en los procesos de restauración ecológica: indicadores, cuantificadores y métodos. In Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (Eds.) *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres* (pp. 74-86). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.
- Plückers, C., Rascher, U., Scharr, H., von Gillhaussen, P., Beierkuhnlein, C., & Temperton, V.M. (2013). Sowing different mixtures in dry acidic grassland produced priority effects of varying strength. *Acta Oecologica* 53, 110-116.
- Reynolds, C. K. (2000). Forage evaluation using measurements of energy metabolism. In D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Axford, & H. M. Omed (Eds.) *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, Wallingford: CABI Publishing.
- Santacoloma-Varón, L. E., Granados-Moreno, J. E., & Aguirre-Forero, S. E. (2017). Evaluación agronómica, calidad de forraje y contenido de taninos condensados de la leguminosa *Lotus corniculatus* en respuesta a biofertilizantes y fertilización química en condiciones agroecológicas de trópico alto andino colombiano. *Entramado*, 13(1), 222-233.
- Simon, L. M., Obour, A. K., Holman, J. D., Johnson, S. K. & Roozeboom, K. L. (2021). Forage productivity and soil properties in dual-purpose cover crop systems. *Agronomy Journal*, 113(6), 5569-5583.
- Soe-Htet, M. N., Hai, J. B., Bo, P. T., Gong, X. W., Liu, C. J., Dang, K., Tian, L. X., Soomro, R. N., Aung, K. L., & Feng, B. L. (2021). Evaluation of nutritive values through comparison of forage yield and silage quality of mono-cropped and intercropped maize-soybean harvested at two maturity stages. *Agriculture*, 11, 452, 1-14.
- Song, S., Wang, X., He, C., Chi, Y. (2023). Effects of utilization methods on c, n, p rate and enzyme activity of artificial grassland in karst desertification area. *Agronomy* 13, 1368.

- Sosa R., E. P., Pérez R., D., Ortega R., L., & Zapata B., G. (2006). Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos, *Técnica Pecuaria en México*, 42(2), 129-144.
- Teshome, A., Habte, E., Negawo, A.T., Shehabu, M.S., Assefa, Y. & Jones C.S. (2023). *Methods and practices for the evaluation of forage legumes, grasses and fodder trees for use as livestock feeds* (2nd ed.). ILRI Manual 64. Addis Ababa, Ethiopia: ILRI.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W. H., Simberloff, D., & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change, *Science*, 292(5515), 281-284.
- Topp G. C., Reynolds, W. D., Cook, F. J., Kirby, J. M., & Carter, M. R. (1997). Physical attributes of soil quality. In: E. G. Gregorich, & M. R. Carter (Eds.). *Soil quality for crop production and ecosystem health* (pp. 21-58). New York, USA: Elsevier Science.
- Torres, B. E., Cortes, B. J., Mejía, S. E., Exebio, A. G., Santos, A. L. H., & Delgadillo, M. E. P. (2003). Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca "El Joselito", Jesús María, Jalisco. *TERRA Latinoamericana*, 2, 117-126.
- Van Der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). Soil Erosion Risk Assessment in Europe (1st ed.). Luxembourg: European Soil Bureau.
- Van Vooren L, Reubens, B., Broekx, S., Reheul, D., Verheyen, K. (2018) Assessing the impact of grassland management extensification in temperate areas on multiple ecosystem services and biodiversity, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 201-212.
- Váscones M., G. H., Caicedo A., D. V., Véliz Z., D. V., & Sánchez M., F. D. (2016). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(3), 417-431.
- Velasco-Zebadúa, M. E., Hernández-Garay, A., González-Hernández, V. A., Pérez-Pérez, J., & Vaquera-Huete, H. (2002). Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(1), 97-106.
- Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, L. E., Holland, E., ..., & Zhang, F. S. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development, *Science*, 324(5934), 1519-1520.
- Williams-Alanís, H., Zavala-García, F., Arcos-Cavazos, G., Rodríguez-Vázquez, M.C, & Olivares-Sáenz, E. (2017). Características agronómicas asociadas a la producción de bioetanol en genotipos de sorgo dulce. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 549-563.
- Zhang, J., Yin, B., Xie, Y., Li, J., Yang, Z., & Zhang, G. (2015) Legume-cereal intercropping improves forage yield, quality and degradability, *PLOS ONE*, 10(12), 1-14.

3. DESEMPEÑO AGRONÓMICO DE CUATRO ESPECIES FORRAJERAS CRECIDAS SOBRE UN SUELO DEGRADADO Y EN SECANO³

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el desempeño agronómico de especies forrajeras introducidas las cuales podrían ser una alternativa como cultivo de cobertura en un protocolo de rehabilitación de suelo para las condiciones edáficas y climáticas de un área de templado subhúmedo del noreste del estado de México. Las especies fueron: Veza coronada (*Securigera varia*), Trébol encarnado (*Trifolium incarnatum* L.), Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), Fleo var, Climax (*Phleum pratense* L.), Dolichos (*Lablab purpureus*) y Triguillo Alto [*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth y DR Dewey], en un diseño experimental de bloques al azar de 5 x 5 m con tres repeticiones, el bloque fue por pendiente del terreno. La fase experimental se llevó a cabo en dos ciclos primavera-verano en los años 2021 y 2022. En 2021 las especies evaluadas fueron: Fleo var. Climax, Tifton 68, Trébol encarnado, y Dolichos; se midió la emergencia y colonización, además, para el segundo año de establecimiento se evaluó la supervivencia, el rendimiento y el potencial germinativo de las semillas producidas por Dolichos. En 2022 se volvió a sembrar de manera directa las especies: Trébol encarnado, Veza coronada, Triguillo alto y Fleo var. Climax, y se evaluó la emergencia. Al mismo tiempo, se estableció un segundo experimento para comparar la supervivencia inicial de trasplantar contra siembra directa; las especies fueron: Fleo var Climax, Veza coronada y Triguillo alto. En 2021, Trébol encarnado y Fleo no presentaron emergencia. Dolichos presentó una emergencia casi constante a los 20 dds, una supervivencia entre 16-20 % y un alto potencial de germinación; con un rendimiento (MS) entre 2652-6894 kg ha⁻¹, con aporte proporcional de 32-37 % tallos, 35-40 % vainas+flores y 28 % hojas. El Tifton 68 requiere dos ciclos de crecimiento para permitirle colonizar la superficie. En las especies Triguillo alto y Veza coronada la siembra y trasplante presentaron similar porcentaje de sobrevivencia, mientras que, para fleo, el trasplante fue el método.

Palabras clave: desempeño agronómico, suelo degradado, secano, Dolichos, Fleo, Tifton 68, Veza coronada, Trébol encarnado, Triguillo alto.

³ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Efigenia Guadalupe Estevané Guzmán

Director: Pedro Arturo Martínez Hernández

AGRONOMIC PERFORMANCE OF FOUR FORAGE SPECIES GROWING ON A DEGRADED AND RAINFED SOIL⁴

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the agronomic performance of introduced forage species which could be an alternative as a cover crop in a soil rehabilitation protocol for the edaphic and climatic conditions of a temperate subhumid area in the northeast of the state of Mexico. The species were: Crown vetch (*Securigera varia* Lassen), Crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.), Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), Timothy var. Climax (*Phleum pratense* L.), hyacinth bean (*Lablab purpureus* L.) and Tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth and DR Dewey). The experimental design was a randomized complete block with three replicates, the block was based on the slope of the terrain. The experimental phase was carried out in two spring-summer cycles in the years 2021 and 2022. In 2021 the species evaluated were: Timothy var. Climax, Tifton 68, Crimson clover, and Hyacinth bean. The emergence and colonization were measured, in addition, for the second year of establishment, the survival, yield, and germination potential of the seeds produced by Hyacinth bean were evaluated. In 2022, the species were sowed directly again: Crimson clover, Crown vetch, Tall wheatgrass, and Timothy var. Climax, and the emergency was evaluated. At the same time, a second experiment was established to compare the initial survival of transplanting against direct seeding. The species were: Timothy var. Climax, Crown vetch, and Tall wheatgrass. In 2021, the Crimson clover and Crown vetch did not present an emergency. Hyacinth bean presented an almost constant emergence at 20 das, a survival between 16-20 %, and a high germination potential; with a yield (DM) between 2652-6894 kg ha⁻¹, with a proportional contribution of 32-37 % stems, 35-40 % pods+flowers and 28 % leaves. Tifton 68 requires two growth cycles to allow it to colonize the surface. In the Tall wheatgrass and Crown vetch species, planting and transplanting presented similar survival percentages, while for Timothy, transplanting was the most effective method.

Keywords: agronomic performance, degraded soil, rainfed soil, Hyacinth bean, Timothy, Tifton 68, Crown vetch, Crimson clover, Tall wheatgrass.

3.1 Introducción

El establecimiento de forrajeras en un suelo de baja fertilidad, además de buscar obtener forraje, es para generar condiciones conducentes a la mejora física, química o biológica del suelo. El desempeño agronómico, para proveer forraje e impacto positivo sobre el suelo, de las especies forrajeras depende de sus capacidades para alcanzar el máximo provecho de las condiciones climáticas, topográficas y edáficas de cada ambiente, por lo que se deben realizar ensayos de campo en los diferentes ambientes (McCorkle, 1990).

Para que un dosel forrajero cumpla con proveer alimento e impacto positivo sobre el suelo debe lograr en un ambiente específico las mayores biomásas radical y aérea (Ferreas et al., 2010; Reubens, Poesen, Danion, Geudens, & Muys, 2007). Algunas especies que pueden lograr estos indicadores son gramíneas rastreras (rizomatosas y estoloníferas) que logran mantener sus tallos libres de la cosecha, de condiciones ambientales adversas y con alta posibilidad de colonizar superficies (Hernández & Pastor, 2008).

Las gramíneas, amacolladas y rastreras, al poder cubrir la superficie del suelo desarrollan un dosel con capacidad de reducir escorrentías, colaborar en retener humedad en el suelo y recuperar la fertilidad de este (Pérez, 2014). Las leguminosas a través de poder establecer una simbiosis con *rizobium* pueden hacerse del nitrógeno necesario para un crecimiento vigoroso, a la vez de generar una biomasa rica en nitrógeno y de fácil degradación lo que promueve una riqueza en materia orgánica funcional (Olivares-Pérez, Avilés-Nova, Albarrán-Portillo, Rojas-Hernández, & Castelán-Ortega, 2011); además, su habilidad para generar semilla les facilita mostrar una alta persistencia en algunas condiciones climatológicas adversas (Lok, Crespo, & Torres, 2017).

Las forrajeras gramíneas y leguminosas son, por tanto, una buena opción para establecerlas en un suelo de pobre fertilidad y en seco. A partir de las condiciones de clima y con base en información sobre posibilidades de adaptación es que se seleccionaron para efecto de evaluación un conjunto de

forrajeras gramíneas y leguminosas tropicales y templadas (González, Velarde, & Garza, 2005; Kanani, Lukefahr, & Stanko, 2006; Mamani, 2004; Vann, Reberg-Horton, Castillo, McGee, & Mirsky, 2019) que podrían ser una alternativa para las condiciones edáficas y climáticas de un área de templado subhúmedo del noreste del estado de México.

El objetivo del presente estudio fue determinar mediante un ensayo de campo el desempeño agronómico de cuatro especies forrajeras crecidas en secano y suelo degradado por erosión, para proveer información que permita generar juicio sobre la posibilidad del uso de estas como cultivo de cobertura en un protocolo de rehabilitación de dicho suelo.

3.2 Agronomía y zootecnia de las especies en evaluación

La información del desempeño agronómico de diferentes especies forrajeras en condiciones de precipitación y temperatura del templado subhúmedo y suelos del noreste del estado de México es escasa; a esta situación se agrega también una escasa información sobre especies nativas con potencial forrajero. Para afrontar este escenario, se recurrió a información publicada sobre condiciones de clima y suelo al que se adaptan algunas especies forrajeras y de las que además se logró obtener semilla.

En esta búsqueda se ubicaron tres leguminosas introducidas, dos de ellas de ciclo anual o bianual y una perenne. Entre las gramíneas también se ubicaron tres, dos de ellas de clima templado, dentro de estas dos, una adaptada al templado subhúmedo y húmedo y la otra a templado seco. La tercera gramínea es de origen tropical, pero tolerante a temperaturas ambientales estacionales relativamente bajas. A continuación, se presenta un poco de más información de estas entradas forrajeras evaluadas en el ensayo de campo.

3.2.1 Veza coronada (*Securigera varia* (L.) Lassen)

La Veza coronada es una leguminosa perenne originaria de la zona del Mediterráneo: Costa Europea y África del Norte. La introducción a Estados

Unidos de América fue hacia 1950, como una especie para el control de la erosión (Britannica, 2018; Anónimo, 2006). La sinonimia es: *Coronilla haussknechtii* Boiss; *Coronilla hirta* Boiss; *Coronilla varia* L.; *Coronilla varia* ssp. *hirta* (Boiss.) Rech.f.; y, *Securigera varia* ssp. *Orientalis* Jahn (Vélez-Gavilán, 2016).

Puede sobrevivir a temperaturas tan bajas como -33 °C y periodos subsecuentes sin lluvia y precipitación intensa, los suelos pueden ser de pobre fertilidad y pedregosos (Anónimo, 2006). Tabari, Aeini, Talaee y Some'e (2012) ubican a la Veza coronada como una especie para zonas áridas y semiáridas con resistencia excelente a la sequía superando en este aspecto a algunas leguminosas del género *Medicago*. Debaeke y Aboudrare (2004) indicaron que es una especie con rápida recuperación a un estrés por sequía.

Cardina, Hartwig y Lukezic (1986) la consideraron una leguminosa capaz de una alta fijación de nitrógeno mediante la simbiosis con *rizobium*, siempre que tenga la oportunidad de acumular biomasa aérea para realizar una fotosíntesis vigorosa. Zheng et al. (2016) consideraron a la Veza coronada como la mejor opción de acolchado vivo en un huerto de manzano en un clima de invierno seco y frío hasta -16 °C, veranos cálidos con hasta 39 °C y precipitación en la estación de crecimiento de 316 a 469 mm.

Wheaton (1993) consideró que la resistencia de la Veza coronada a ambientes secos y fríos se debe en parte a su fuerte formación de rizomas lo que le permite contar con un medio de propagación y colonización protegido por el mismo suelo, califica a la Veza coronada como un forraje de mediana calidad, ya que, aunque es una leguminosa que no provoca timpanismo, no es muy apetecida por el ganado.

3.2.2 Trébol carmesí o encarnado (*Trifolium incarnatum* L.)

El trébol encarnado es una leguminosa anual proveniente del sureste de Europa y suroeste de Asia Menor, fue introducida a Estados Unidos en los 1800's como un cultivo forrajero (Young-Mathews, 2013). La siembra continúa sumada a su

capacidad de auto-siembra ha originado que se considere una especie naturalizada bajo varias condiciones de suelo y clima de Estados Unidos, entre ellas una estación de crecimiento no menor a 184 días con una precipitación no menor a los 450 mm (Vincent & Duane, 2012).

Wickline y Rayburn (2008) indicaron que el trébol encarnado demostró ser una especie excelente para cubrir el suelo durante el invierno y posteriormente como abono verde, la germinación y crecimiento inicial puede darse con una precipitación mensual acumulada de 60 mm durante otoño-invierno.

Lloveras e Iglesias (2002) le dieron seguimiento a un cultivo de trébol encarnado a lo largo de sus estados de crecimiento, y describen que en etapas iniciales de crecimiento mostró una pobre razón hoja: tallo, lo que se reflejó en una rápida declinación en el contenido de proteína cruda según avanzó el grado de madurez del cultivo, y hacia la tapa de crecimiento vegetativo la razón hoja: tallo fue de 0.53 y se redujo a 0.13 con la maduración de la semilla. Sin embargo, los autores calificaron a la especie como una forrajera de calidad si se cosecha hacia el inicio de la floración.

En el sur de Brasil, el trébol encarnado no alcanzó a producir semilla por lo que la posibilidad de auto-siembra quedó en incertidumbre; sin embargo, bajo una gestión de tres cosechas durante la estación de crecimiento activo mostró un rendimiento de forraje en cantidad y calidad comparable a otras especies forrajeras de uso común en la zona, por lo que el autor concluyó que trébol encarnado era una opción forrajera adicional a las forrajeras en uso en esta zona (Tomazi, 2015).

Moore et al. (2020) encontraron al comparar entradas de trébol encarnado diferencias en: emergencia, supervivencia invernal, tiempo a floración, biomasa por planta, contenido de nitrógeno en la biomasa aérea y la proporción de este nitrógeno proveniente de la fijación simbiótica; por lo que concluyeron que hay una oportunidad en la mejora de esta especie y que la variación natural

encontrada puede explicar algunos resultados contrastantes de esta especie en otros ensayos de campo.

3.2.3 Dolichos o frijol jacinto (*Lablab purpureus*)

Maass et al. (2010) señalan que *L. purpureus* es una leguminosa originaria de África, aunque muestra gran variabilidad de accesiones en el sur de Asia donde tiene una distribución cosmopolita, consideran que es una de las leguminosas cultivadas con gran variedad de usos. Nord, Miller, Mariki, Drinwater y Snapp (2020) concluyeron que *L. purpureus* es una leguminosa para producir forraje y grano, registraron más de 2.5 t y 600 kg de forraje y grano, respectivamente en ambientes de 500 a 1000 mm de precipitación.

Sánchez-Blanco, Sánchez-Blanco, Sousa y Espinosa-García (2012) encontraron que *L. purpureus* puede desarrollarse en condiciones tropicales y templadas de México, además de mostrar resistencia a las limitaciones estacionales en humedad, por lo que concluyeron que es una especie cosmopolita y que podría convertirse en invasora, por lo que recomiendan que su cultivo sea tomando precauciones para evitar se torne en una invasora supresora de especies nativas.

Laguna (2001) encontró más de 10 sinonimias de esta especie y al menos tres subespecies, por lo que la clasifica como una especie muy cosmopolita y de amplia distribución en ambientes tropicales o templados sin inviernos en extremos fríos, indica usos ornamentales, forrajeros y para grano. La posibilidad de auto-siembra la hace presente en terrenos abandonados en asociación con otras especies como la gramínea *Arundo donax*.

3.2.4 Fleo o Timothy (*Phleum pratense* L.)

Fleo es una gramínea perenne ampliamente usada en áreas con inviernos muy severos por su alta persistencia en este tipo de climas, por lo que se le ha considerado la forrajera de los países Nórdicos y del Báltico Norte: Noruega, Suecia, Finlandia, Escocia, entre otros (Höglind, Schapendonk, & Van Oijen, 2001).

En Japón, Fleo es una forrajera recomendada para zonas de veranos frescos temperaturas promedio diarias de 13 a 17 °C y precipitación acumulada en la estación de crecimiento no menor a 60 mm, para la persistencia en este clima recomiendan cosechar luego de la primera mitad de la estación de crecimiento para permitir suficiente acumulación de reservas, la cosecha tardía no incrementa la cantidad de reservas acumuladas, pero sí puede reducir la calidad del forraje cosechado (Okubo et al., 2019).

La rusticidad y persistencia de Fleo en climas con inviernos severos se ha asociado a su gran capacidad de establecer relaciones mutualistas durante su crecimiento activo con un conjunto de hongos endófitos, en comparación con otras gramíneas templadas como es *Lolium perenne* (Przemieniecki, Damszel, Kurowski, Mastalerz, & Kotlarz, 2018).

Es una especie perenne de poca persistencia de clima templado y húmedo, se reproduce mediante semilla, se adecua mejor a suelos relativamente arcillosos profundos y húmedos, tiene una alta palatabilidad y se usa especialmente para la henificación, cortando en fase de prefloración (Berlíjn, 1997).

3.2.5 Triguillo Alto (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth y DR Dewey)

Las gramíneas agrupadas en el nombre genérico de pastos triguillos han sido objeto de continuos estudios botánicos y por eso sujetos a una amplia sinonimia, para el caso del Triguillo Alto, Scheinost, Tilley, Ogle y Stannard (S/F) registraron al menos nueve sinónimos, a saber: *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv.; *Agropyron varnense* (Velen.) Hayek.; *Elymus elongatus* (Host) Runemark; *Elymus elongatus* (Host) Runemark var. *ponticus* (Podp.) Dorn; *Elymus varnensis* (Velen.) Runemark; *Elytrigia elongata* (Host) Nevski; *Elytrigia pontica* (Podp.) Holub.; *Elytrigia pontica* (Podp.) Holub. spp. *pontica*; *Lophopyrum elongatum* (Host) A. Löve. Estos autores resaltan que la amplitud de sinonimia responde también a que es una especie de distribución cosmopolita, principalmente en áreas de clima templado semiárido y suelos con cierto grado de salinidad.

El Triguillo Alto es una forrajera muy resistente a la sequía, la afronta con disminución del área de hojas y tamaño de hijatos, pero éstos en mayor número, al aumentarse la disponibilidad de humedad del suelo dispara su crecimiento. (Borrajo, Sánchez-Moreiras, & Reigosa, 2018). Esta gramínea, también puede sobrevivir a inundación momentánea por la formación de rizomas cortos que permiten un nuevo crecimiento al terminar la condición de inundación, desarrolla una masa radical muy ramificada y profunda por lo que después de la inundación es capaz de mantener el suelo para evitar o reducir el riesgo de erosión (Vergiev, 2019).

El Triguillo Alto se considera una especie originaria de suelos salinos del Sur de Europa, Asia Menor y sur de Rusia, y se recomienda para la rehabilitación de suelos salino-alcálinos a la vez de producir forraje para rumiantes (Li et al., 2023).

Ciria, Sastre, Carrasco y Ciria (2020) demostraron que Triguillo Alto es un cultivo alternativo al de cereales anuales como el centeno en suelos y climas marginales del centro de España. Cultivar Triguillo Alto implicó 40 % menos y 50 % más, consumo de energía fósil y materia orgánica en el suelo, respectivamente, en comparación al cultivo de centeno. Concluyeron que cultivar Triguillo Alto implica una huella de carbono hasta dos veces mejor que el cultivo de cereales de invierno por menor uso de energía fósil, aumento del carbono orgánico en suelo y el uso de la biomasa como fuente de bioenergía.

3.2.6 Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst)

Tifton 68 es una variedad de gramínea Bermuda mejorada de propagación por estolones, liberada en 1984, por el programa de mejora genética de gramíneas tropicales encabezado por el Dr. Glenn W. Burton en la Estación Experimental de la Planicie Costera en Tifton, Georgia, Agencia de Servicio de Investigación, Departamento de Agricultura, Estados Unidos. Tifton 68 se desarrolló para proveer forraje de mayor calidad, se derivó de cruzar dos introducciones seleccionadas por su mayor valor nutritivo; sin embargo, un punto débil es su

menor supervivencia invernal en algunas condiciones del sur de Estados Unidos (Hancock, Edwards, Green, & Rehberg, 2013).

De las variedades de bermuda Tifton 68, Cruza 1 y Gigante, la primera mostró el menor contenido de proteína cruda al variar frecuencia y severidad de corte, por lo que se concluyó que, en cuanto a calidad del forraje, el contenido de proteína cruda es el punto más débil del Tifton 68 y se debe considerar esta situación al momento de recomendar el establecimiento de este (Rojas, Rincón, Gallardo, & Leal, 2004).

En zonas templadas, conforme la estación cálida del año se hace más larga y calurosa, es una opción importante la integración a la cadena de producción de forraje de especies perennes como los zacates Bermuda. Si la temperatura media diaria en la estación fría está por arriba del punto de congelación muchos de estos zacates Bermuda, entre ellos Tifton 68, pueden supervivir por contar con estolones muy cercanos al suelo y en algunos casos pequeños rizomas, que escapan de la congelación (Baxter et al., 2022).

De entre 290 entradas de zacates Bermuda provenientes de 34 países, Tifton 68 quedó dentro del 10 % superior en valor nutritivo conformado por siete variables de concentración; sin embargo, Tifton 85, un híbrido derivado de Tifton 68, fue la entrada que mostró el mayor valor al combinar rendimiento de forraje y valor nutritivo. Tifton 68 fue calificada como una buena opción forrajera, rendimiento y calidad, para ambientes templados con estación cálida larga e invierno no severo (de Souza et al., 2023).

Hernández (2012) en un ambiente de estación cálida larga, muy calurosa y seca con apoyo de riego, encontró que Tifton 85 rindió 21 % más forraje al año que Tifton 68; aunque en algunas épocas del año, Tifton 68 mostró mayor tasa diaria de acumulación de forraje que Tifton 85. En lo que siempre fue superior Tifton 85 al Tifton 68 fue en la proporción de aporte de hoja al rendimiento de forraje, por lo que concluye el autor que Tifton 68 es una opción forrajera luego de Tifton 85.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Área de estudio

Los ensayos de campo se realizaron en la parcela J-103 del Campo Experimental “Lomas de San Juan”, de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, estado de México a 19° 30' 5'' N y 98° 51' 28" O y 2337 msnm. En la región norte-oriental de la Cuenca del Valle de México (CONAGUA, 2013). Huerta et al. (2018) indican para la zona un clima templado subhúmedo, precipitación promedio anual 596 mm con lluvias concentradas en verano, temperatura media anual de 18 °C y poca oscilación térmica, la fórmula climática la establecen como: C (w_o) (w) b (i'). El invierno es poco severo y seco, la parte inicial de la primavera con poca frecuencia de lluvias y en ambas estaciones se recibe abundante radiación ultravioleta (Tutiempo, 2022).

3.3.2 Descripción de la fase experimental

Los ensayos de campo se realizaron en dos ciclos primavera-verano en los años 2021 y 2022. En primavera-verano se concentran los eventos de lluvia, 90-95 % de la precipitación anual se recibe en esta época del año; los cultivos forrajeros evaluados en los ensayos de campo fueron en secano, su única fuente de agua fue la precipitación.

Ensayos de campo 2021

En este año se evaluaron cuatro tratamientos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, el bloque fue por pendiente del terreno, la unidad experimental fue una parcela de 25 m² (5 X 5m) con 13 líneas de siembra a 40 cm de separación, la primera y última líneas de siembra de cada parcela estuvieron a 20 cm del límite de la parcela respectiva. Los tratamientos fueron cuatro especies forrajeras: Fleo var. Climax, Tifton 68, Trébol encarnado, y Dolichos.

Previo a la siembra se hizo prueba de germinación de las semillas de las dos leguminosas y Fleo, los porcentajes de germinación para Fleo y Trébol encarnado fueron muy bajos, para las tres especies se hizo el ajuste respectivo para lograr la densidad de siembra establecida. Las densidades de siembra fueron para Fleo 6 kg ha^{-1} (base de 2,000,000 semillas kg^{-1}); Trébol encarnado 20 kg ha^{-1} (base 196-253 semillas kg^{-1}); y, Dolichos 12 kg ha^{-1} (base 3,307 semillas kg^{-1}). Tifton 68 fue establecido por estolones ya que no presenta semilla fértil, de una parcela de propagación del Departamento de Zootecnia se cosecharon estolones con tres nudos, se plantaron a una densidad de 52,000 estolones ha^{-1} .

Todas las parcelas se sembraron el 15 de junio de 2021, sobre un suelo barbechado y rastreado, manualmente se colocó las semillas de Fleo, Trébol encarnado y Dolichos, a *chorillo* en cada línea de siembra procurando mantener una profundidad máxima de 1.5 cm, las semillas se cubrieron con un rastrillo. Para Tifton 68 en cada línea de siembra los estolones se espaciaron 50 cm, los estolones se colocaron perpendiculares a la línea de siembra, el nudo central se enterró a 2-3 cm de profundidad, los otros dos nudos quedaron sobre la superficie del suelo, con el pie se afirmó el suelo para cubrir el estolón enterrado.

Posterior a la siembra se dio seguimiento diario a las parcelas para remover manualmente con azadón cualquier especie espontánea y procurar mantener a las especies sembradas libres de competencia.

Las variables medidas en campo fueron: emergencia y colonización. Emergencia solamente se midió en Dolichos, Trébol encarnado y Fleo no mostraron emergencia alguna. En tres líneas de siembra a lo largo del metro central se registró el número de plántulas, esta medición se hizo a los 11, 18, 23 y 30 días después de la siembra (dds) siempre en el mismo lugar. La emergencia se expresó como porcentaje del máximo posible determinado por el número de semillas con potencial de germinar que se colocaron en ese metro. En 2021, no se hizo ninguna medición destructiva las plantas de Dolichos se dejaron en

campo hasta el ciclo primavera-verano de 2022 para nuevas mediciones algunas ya destructivas.

En 2022, se registró en Dolichos: plantas presentes, potencial de germinación de semillas y rendimiento de forraje. La medición de plantas presentes se hizo el 15 de julio de 2022 en el mismo lugar que se midió emergencia el 15 de julio de 2021, el número de plantas presentes en 2022 se expresó como porcentaje del número de plantas en 2022, y así se calculó la supervivencia de Dolichos del ciclo primavera-verano de 2021 a 2022. Para determinar el potencial de germinación de semillas, se colectaron semillas de plantas seleccionadas al azar dentro de cada parcela el 13 de mayo de 2022, las semillas colectadas se clasificaron en tres grupos: pequeñas (peso menor a 0.12 g por semilla), medianas (peso de 0.12 a 0.16 g por semilla) y grandes (peso mayor a 0.16 g por semilla) y se pusieron a germinar en caja de Petri. A 13 días de iniciar la prueba de germinación se determinó el número de semillas germinadas o no.

El rendimiento de forraje en Dolichos se determinó el 5 de octubre de 2022, se contabilizó el número total de plantas de Dolichos por parcela, se seleccionaron cinco al azar y se cortaron a una severidad de 10 cm, cada planta fue separada en los componentes: hoja, tallo y vainas+flores, algunas hojas senescentes (amarillas) se contabilizaron en hoja. Los pesos de cada componente se registraron luego de secado en estufa de aire forzado por 72 horas a 60 °C, con los pesos registrados se calculó rendimiento por componente y total por parcela (25 m²) al multiplicar el número de plantas por parcela por el peso de cada componente (hoja, tallo y vainas+flores) y la suma de ellos, posteriormente se expresaron los rendimientos en kilogramos por hectárea.

Colonización solo se midió en Tifton 68 por su naturaleza estolonífera y haberse implantado por estolones. En cada parcela, la medición de colonización se hizo en una planta al centro de cada una de las tres líneas centrales de siembra, la medición se hizo en 2021 a 30, 61, 92, 122 y 153 dds, en 2022 a 365, 395, 420, 472 y 483 dds, siempre se midió en la misma planta. Para medir colonización, un

cuadrado de 1 m por lado de plástico transparente y flexible se dividió con un marcador permanente en 100 cuadros de 10 cm por lado, en campo el cuadro central, del plástico de 1 m², se ubicó sobre la planta en cuestión, se extendió el plástico para contar los cuadros con presencia de alguna parte de Tifton 68. La colonización se expresó en cm² considerando el número de cuadros con presencia de Tifton 68 y 100 cm² por cuadro.

Ensayos de campo 2022

Un experimento fue comparar la emergencia de cuatro especies forrajeras en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, el bloqueo fue por pendiente del terreno, la unidad experimental fue una parcela de 25 m² (5X5) con 13 líneas de siembra a 40 cm de separación, la primera y última líneas de siembra se ubicaron a 20 cm del límite de la parcela respectiva. Las cuatro especies evaluadas fueron: Trébol encarnado (*Trifolium incarnatum*), Veza coronada (*Securigera varia*), Triguillo alto (*Thinopyrum ponticum*) y Fleo var. Climax (*Phleum pratense*).

Previo a la siembra se hizo prueba de germinación de las semillas y se hizo el ajuste respectivo para lograr la densidad de siembra establecida. Las densidades de siembra fueron para Fleo 6 kg ha⁻¹ (base de 2,000,000 semillas kg⁻¹); Trébol encarnado 20 kg ha⁻¹ (base 196,253 semillas kg⁻¹); Triguillo alto 15 kg ha⁻¹ (base 226,000 semillas kg⁻¹); y Veza coronada 15 kg ha⁻¹ (base 333,000 semillas kg⁻¹).

Todas las parcelas se sembraron el 15 de julio de 2022, sobre un suelo barbechado y rastreado, manualmente se colocaron las semillas a *chorillo* en cada línea de siembra procurando mantener una profundidad máxima de 1.5 cm, las semillas se cubrieron con un rastrillo. Posterior a la siembra se dio seguimiento diario a las parcelas para remover manualmente con azadón cualquier especie espontánea y procurar mantener a las especies sembradas libres de competencia.

La variable medida en campo fue emergencia. En tres líneas de siembra a lo largo del metro central se registró el número de plántulas, esta medición se hizo

a los 15, 21, 28, 35, 42 y 49 dds, siempre en el mismo lugar. La emergencia se expresó como porcentaje del máximo posible determinado por el número de semillas con potencial de germinar que se colocaron en ese metro.

Un segundo experimento fue establecido para comparar la supervivencia inicial de trasplantar con sembrar semilla en campo, la comparación fue en tres forrajeras: Fleo var Climax, Veza coronada y Triguillo alto. Las plántulas para el trasplante se obtuvieron de sembrar en invernadero en vasos de 1 litro de capacidad con 600 g de suelo secado al sol dentro del invernadero y tamizado a 5 mm, las plántulas se desarrollaron por 60 días con humedad suficiente y libre de competencia por especies espontáneas, se trasplantaron el 12 de mayo de 2022. El suelo provino de un área vecina a donde se haría el trasplante.

El trasplante se hizo bajo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, el bloqueo fue por pendiente del terreno, y la unidad experimental se conformó de dos hileras de 5 m de longitud y separación entre ellas de 40 cm. En cada hilera se trasplantaron 60 plantas a una separación de 12 cm, para dar 120 plantas por unidad experimental y 360 plantas en total considerando las tres repeticiones. El trasplante se hizo sobre un suelo previamente barbechado y rastreado, se aplicaron dos deshierbes manuales para controlar la competencia por especies espontáneas.

Para el tratamiento de siembra de la semilla en campo se usaron las parcelas sembradas en 2022 para el experimento de comparar emergencia en cuatro forrajeras descrito previamente. El 2 de septiembre de 2022, se contabilizaron las plantas presentes, para el tratamiento de trasplante se registraron las presentes en cada una de las dos hileras de la unidad experimental; para la siembra de semilla en campo se hizo la medición fue según se explicó previamente. El número de plantas se expresó como porcentaje del número total de plantas posible en trasplante fue de 60 plantas por hilera y en la siembra de semilla según se explicó ya previamente.

En ambos años se obtuvieron registros climatológicos de la estación Montecillos, del Colegio de Posgraduados, ubicada a unos 3 kilómetros del sitio experimental.

3.3.3 Análisis estadístico

Dolichos. La emergencia solamente se midió en Dolichos, ya que Fleo y Trébol encarnado no registraron emergencia alguna. El análisis estadístico fue descriptivo por regresión, la variable independiente fue número de días luego de la siembra, se aplicó una regresión lineal y una cuadrática. La variable supervivencia del ciclo 2021 al ciclo 2022 de Dolichos no fue sujeta a ningún análisis estadístico, pero sí la germinación de sus semillas colectadas al inicio del ciclo 2022, agrupadas por tamaño en tres: pequeñas, medianas y grandes, el análisis estadístico fue bajo un diseño experimental completamente al azar con 6 a 11 repeticiones, la unidad experimental fue una caja de Petri con al menos dos semillas, la germinación usada fue la encontrada a 20 días de iniciada la prueba de germinación. Los rendimientos por componente y total y aporte al rendimiento de cada componente no fueron sujetos a análisis estadístico solo se registró la variabilidad posible en este atributo agronómico.

Tifton 68. En esta forrajera solamente se midió colonización desde el ciclo 2021 al 2022, la superficie cubierta se analizó mediante un análisis de regresión se probaron la regresión lineal y cuadrática, donde la variable independiente fueron los días después de la plantación.

Ensayo 2022 emergencia en cuatro especies y seis fechas. Para la comparación en emergencia de 15 a 49 dds se hizo un análisis de varianza para cada una de las fechas de medición de forma independiente.

Ensayo 2022 supervivencia entre siembra directa y trasplante. En el análisis de supervivencia entre trasplante y siembra directa, se eliminó el Fleo ya que en siembra directa mostró muy pobre emergencia cercana a cero. El análisis se hizo para cada especie: Veza coronada y triguillo alto en forma independiente, mediante una prueba de t de student.

3.4 Resultados y discusión

3.4.1 Condiciones climáticas

Durante la fase experimental las condiciones ambientales se vieron afectas por el fenómeno de La Niña, lo que generó temperaturas máximas y mínimas por debajo de las normales en 2021, y periodos de sequías en los meses de abril y julio de 2021, y durante la primavera (marzo-junio) de 2022. Además, de eventos de lluvias atípicas durante el verano (junio-septiembre) de 2021 y 2022 (Figura 3.1).

La germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas son etapas vitales para el establecimiento exitoso de una especie y altamente dependientes de las condiciones de humedad y temperatura extremas (Hubbart et al., 2012), en ambos ciclos 2021 y 2022 se presentaron periodos con precipitaciones por debajo de la media del largo plazo condición que pudo limitar el desarrollo inicial de las especies en evaluación.

3.4.2. Dolichos

La emergencia de Dolichos fue descrita tanto por un modelo lineal como uno cuadrático, comúnmente un modelo cuadrático incluye un componente lineal significativo, es por esta razón que se consideró que el modelo cuadrático fue el mejor descriptor de este proceso de crecimiento inicial de la especie (Figura 3.2).

Luego de 18 dds la emergencia expresada como porcentaje es casi constante por lo que podría indicarse que a 20 dds se podría estimar la emergencia en esta especie.

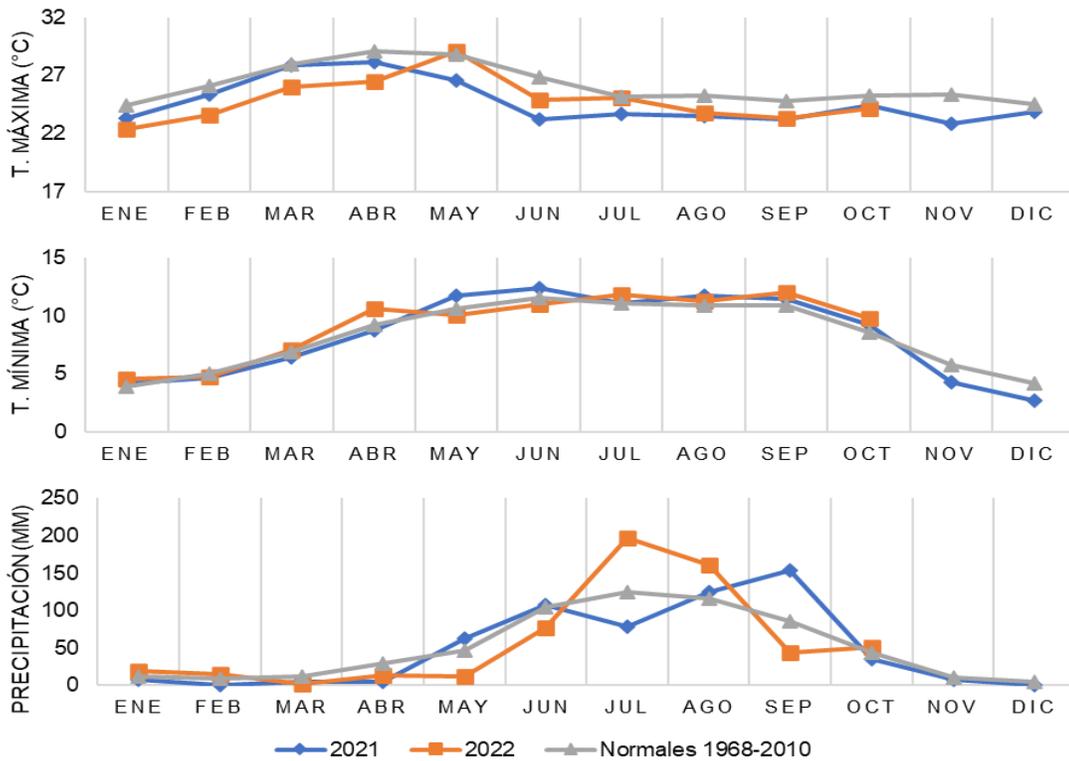


Figura 3.1. Temperatura media máxima, temperatura media mínima y precipitación total mensual durante los años 2021 y 2022 comparadas con los valores medios normales del periodo de 1968-2010. Datos reportados por la estación agrometeorológica de Montecillos, Texcoco, estado de México.

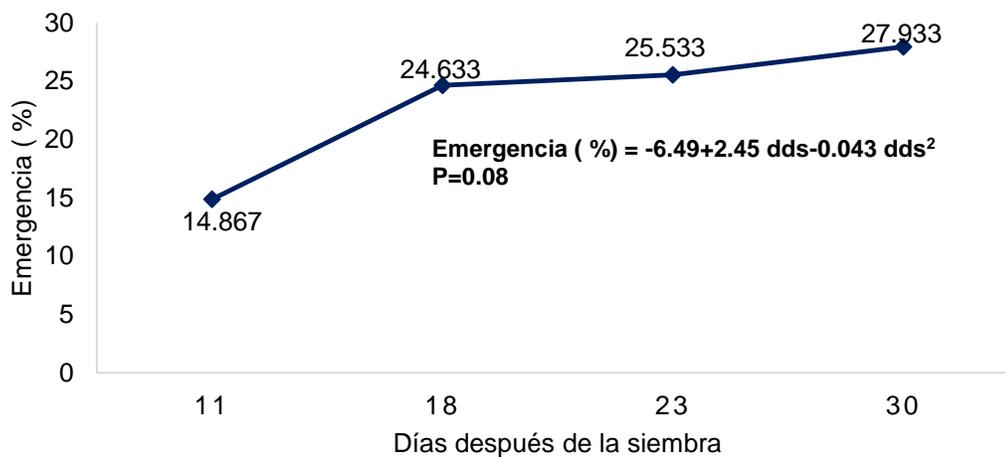


Figura 3.2. Emergencia en *Lablab purpureus* a diferentes días después de la siembra en condiciones de secano y suelo degradado en Chapingo, México.

Brar Gomez, McMichel y Taylor (1991) registraron que las mayores tasas de germinación del Trébol encarnado fueron a 15-20 °C, mientras que, la menor ocurrió a 30 °C. Berg, McElroy y Kunelius (1996) encontraron que la temperatura óptima para la germinación de esta especie está en el rango de 15-20 °C, la germinación del 75 % fue a 4 y 7 dds si la temperatura era constante a 20 y 15 °C, respectivamente. En 2021 en el sitio experimental, la temperatura promedio fue de 16.3 °C, por lo que la temperatura posiblemente no fue una limitante. Sattel, Dick, Hemphil, Luna y McGragth (1998) mencionan que las semillas de trébol encarnado necesitan condiciones adecuadas de humedad en el suelo para germinar. Radkowski et al (2020) destacan que fleo es una especie de baja resistencia a la sequía durante la germinación y crecimiento de las plántulas. En el sitio experimental en Julio de 2021 se registró una precipitación acumulada 23 % menor a la normal, posiblemente la humedad en el suelo fue- un factor limitante para la germinación de la especie. Qi y Redmann (1993) destacan que, la interacción de la temperatura y el estrés hídrico afectan la germinación final y las tasas de germinación de los pastos de estación fría. A la deficiencia en humedad podría agregarse la pobre retención de humedad por parte del suelo, lo que agravaría el impacto de pobre disponibilidad de humedad. Dürr y Aubertot (2000) destacan que la emergencia de las plántulas se ve afectada negativamente por la compactación del suelo. Nawas, Bourrié y Trolard (2013) mencionan que suelos compactados pueden resultar en la deformación de la raíz, retraso del crecimiento de los brotes, germinación tardía, baja tasa de emergencia y alta tasa de mortalidad.

La supervivencia de Dolichos del fin del ciclo 2021 al inicio del ciclo 2022, de julio 2021 a julio 2022, fue extremadamente variable con valores de 0 a 100 % de supervivencia, esta fuerte variabilidad podría ser reflejo de amplias variaciones en las características del suelo. Eliminando los valores extremos la supervivencia podría considerarse estuvo del 16 al 20 %, un porcentaje modesto, pero considerando las condiciones de escasa humedad, variación muy amplia en la

temperatura ambiental entre horas del día y alta incidencia de radiación ultravioleta permiten apuntar que dicho nivel de supervivencia podría ser interesante y hacer del Dolichos una opción forrajera para la zona.

La germinación de las semillas de Dolichos agrupadas por tamaño se muestra en el Cuadro 3.1. Solamente las semillas pequeñas mostraron una tendencia a mostrar una germinación casi 73 % menor al promedio de las germinaciones registradas para las semillas medianas a grandes, que no mostraron diferencia entre ellas.

Cuadro 3.1. Germinación (%) a 20 días de prueba en semillas de *Lablab purpureus* cultivado en secado y suelo pobre, agrupadas por tamaño de semilla.

Tamaño de la semilla	Germinación
Pequeña (peso <0.12 g)	29b*
Mediana (peso \geq 0.12 y <0.16 g)	50a
Grande (peso >0.16 g)	55a

*Medias seguidas con la misma letra en cada columna no son diferentes ($p=0.05$)

No se midió la proporción de semillas en cada grupo identificado; sin embargo, en general podría indicarse que Dolichos crecido en secano y suelo pobre tiene un alto potencial para perpetuarse con base a la auto-resiembra dado que la semilla producida mostró un potencial de germinación relativamente alto, además, nos indica de la importancia de aplicar protocolos agronómicos que le permitan a Dolichos a formar semillas lo más grande posible.

En el Cuadro 3.2 se presentan para Dolichos los rendimientos base seca por componente y total, así como el aporte proporcional que cada componente da al rendimiento total. De un bloque a otro el rendimiento total de forraje varió hasta casi en 2.6 veces, esta variabilidad se asoció con la variabilidad en los

rendimientos de tallo y vaina+flores que mostraron una mayor desviación estándar que la de hojas que también mostró un aporte proporcional más estable, en los tres bloques el aporte del rendimiento de hoja al total fue de 28 %, mientras que el aporte proporcional de tallo fue de 32 a casi 37 % y el de vainas+flores varió de 35 a 40 %. El aporte de vainas+flores es importante porque es una condición que podría asegurar la auto-siembra y por tanto la presencia continua de esta especie sin necesidad de volver a sembrar cada año. Queda pendiente para otro estudio el seguimiento del desempeño de la semilla en campo, ya que, en laboratorio se logró registrar de 29 a 55 % de germinación de las semillas (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Rendimientos potenciales por componentes y total (kg ha^{-1}), aporte proporcional (%) por componente al rendimiento en *Lablab purpureus* crecido a secano y en suelo pobre en Chapingo, México.

Rendimiento	Bloque			Media \pm DS
	1	2	3	
Hoja	1 047.2	748.0	1 909.6	1 234.9 \pm 603.1
Tallo	1 346.4	843.2	2 380.8	1 523.5 \pm 783.9
Vainas+flores	1 292.0	1 060.8	2 604.0	1 652.3 \pm 832.3
Total	3 685.6	2 652	6 894.4	4410.7 \pm 2212.2
Aporte por componente				
Hoja	28.4	28.2	27.7	28.1 \pm 0.4
Tallo	36.5	31.8	34.5	34.3 \pm 2.4
Vainas+flores	35.0	40.0	37.8	37.6 \pm 2.5

3.4.3. Tifton 68

En la Figura 3.3 se muestra el avance en colonizar superficie del Tifton 68 desde su plantación hasta los 483 días después de plantado, durante el primer año es pobre el avance en colonizar terreno, y es a partir del segundo ciclo donde existe una tendencia lineal sostenida de aumento en la superficie de terreno colonizado.

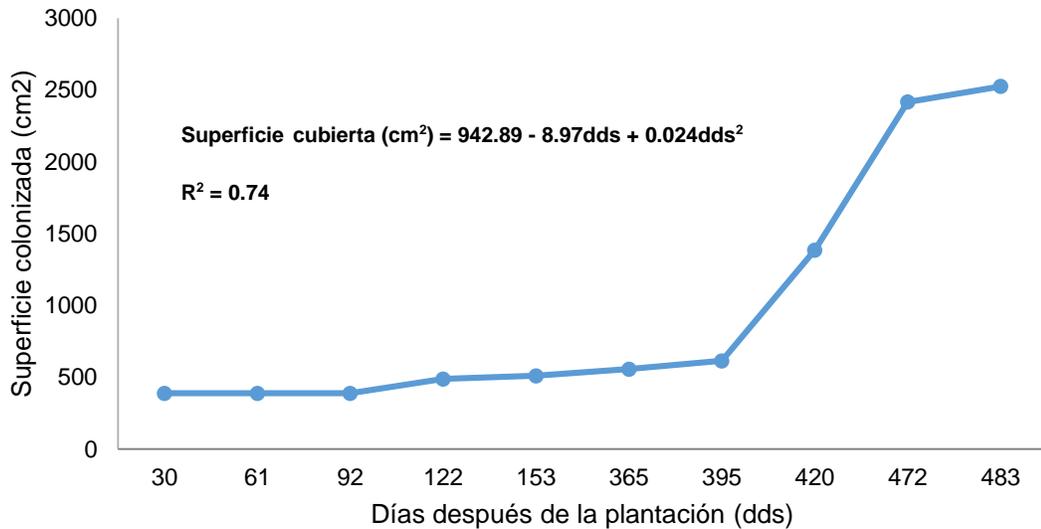


Figura 3.1. Superficie colonizada por Tifton 68 crecido en seco y suelo pobre en Chapingo, México.

El modelo cuadrático fue el que mejor describió los cambios en la superficie colonizada por Tifton 68 en los dos ciclos 2021 y 2022 en que se dio el seguimiento al desempeño de esta forrajera. La decisión del modelo cuadrático como un mejor descriptor que el lineal se basó en una mejoría en r^2 que pasó de 55.00 a 74.12 %, los coeficientes para el valor lineal y el cuadrático fueron diferentes de cero ($p < 0.0001$). Biológicamente el modelo cuadrático permitió ver la fase casi sin incremento en la superficie colonizada durante el ciclo 2021 que fue cuando se plantó el Tifton 68.

Podría señalarse que para determinar el éxito o no de la plantación de Tifton 68 en las condiciones en que se trabajó el ensayo de campo requiere de al menos dos ciclos de crecimiento para permitirle a la especie ir colonizando superficie.

3.4.3 Emergencia en cuatro especies y seis fechas

La emergencia de 15 a 49 dds podría indicarse formó dos grupos (Cuadro 3.3) uno conformado por el Triguillo alto y la Veza coronada y el otro por Trébol encarnado y Fleo. Triguillo alto y Veza coronada se mantuvieron con las mayores emergencias durante todo el periodo de medición con valores superiores al 20 %, mientras que Trébol encarnado y sobre todo Fleo, siempre con emergencias muy bajas, el trébol encarnado solamente en dos de las seis fechas mostró emergencia superior al 10 %, que aun así fue muy baja. En fleo la emergencia nunca llegó a superar 1 %. Las emergencias tan pobres en trébol encarnado y fleo podrían explicarse por una siembra relativamente profunda para el tamaño de la semilla; sin embargo, es un tema que demanda mayor investigación, y si bien este pobre resultado previene que estas especies puedan recomendarse de forma inmediata, no anula la posibilidad de que sean opciones forrajeras para este tipo de sitios: templado subhúmedo y suelo pobre.

Cuadro 3.3. Emergencia (%) en cuatro especies forrajeras a seis fechas después de la siembra en un suelo degradado en Chapingo, México.

Especie	Días después de la siembra					
	15	21	28	35	42	49
Trébol encarnado	11.1 ab*	7.5bc	7.5b	7.9bc	8.0ab	13.0ab
Veza coronada	19.7ab	33.2a	27.8a	27.7a	26.4a	29.7a
Fleo	0.8 b	0.06c	0.01b	0.01c	0.03b	0.00b
Triguillo Alto	28.1a	26.7ab	22.2a	24.9ab	26.2a	26.2a

*Medias seguidas con la misma letra de cada columna no son diferentes ($p= 0.05$)

3.4.4. Supervivencia entre siembra directa y trasplante.

Como se indicó para fleo no se hizo comparación entre trasplante y siembra directa de la semilla, ya que en la siembra la emergencia fue prácticamente nula. Sin embargo, la supervivencia de fleo en trasplante alcanzó 31.8 % (Cuadro 3.4) por lo que podría indicarse que el trasplante fue un método de inclusión del fleo en el ambiente con éxito en comparación a la siembra de la semilla y lo que afianza el comentario de que la pobre emergencia no debe considerarse como prueba de que fleo es una especie de pobre a nula adaptación al sitio: templado subhúmedo y suelo pobre.

Cuadro 3.4. Supervivencia (%) a 49 días después de la siembra o trasplante de tres especies forrajeras en un suelo pobre en Chapingo, México.

Especie	Siembra	Trasplante	Valor de t
Triguillo alto	26.2	33.9	0.29
Veza coronada	29.7	33.9	0.35
Fleo*	S/D	31.8	S/D

* En fleo no se hizo comparación debido a que en siembra no se logró obtener emergencia de plántulas.

Para las especies triguillo alto y Veza coronada la siembra y trasplante dieron similar porcentaje de sobrevivencia, por lo que la disponibilidad de mano de obra y semilla podrían ser mayores determinantes que la forma de introducir a estas especies en este ambiente. El trasplante puede ahorrar la cantidad de semilla necesaria, pero significa un uso mayor de mano de obra.

3.5 Conclusión

Las condiciones climáticas fueron afectadas por el fenómeno de La Niña durante la fase experimental, lo cual provocó eventos anormales de precipitaciones y sequías, afectando el desarrollo y adaptación de las gramíneas y leguminosas.

Sin embargo, la especie *Dolichos* presentó un buen porcentaje de emergencia y supervivencia, además, produjo semillas con buen potencial germinativo, por lo que podría considerarse una opción como cobertura, pero falta realizar más evaluaciones sobre el rendimiento, la calidad del forraje y los efectos sobre el suelo en un periodo más largo, para disponer de más información y realizar un mejor juicio sobre si podría ser una especie adecuada como cultivo de cobertura en un protocolo de rehabilitación de suelo. Para el caso de las otras especies, Tifton 68, Veza coronada, triguillo alto y Trébol encarnado, no se anula la posibilidad de que sean opciones forrajeras para este tipo de sitios, pero se requiere un periodo más largo de evaluación sobre su desempeño agronómico y efectos sobre el suelo, y se sugiere que el trasplante es el método que genera una mayor supervivencia temprana de estas especies en el área de estudio.

Literatura citada

- Anónimo. (2006). Invasive Plant Species Assessment Working Group: *Crown Vetch Coronilla varia*. Recuperado de: <https://extension.purdue.edu/news/county/marion/2021/08/IPSAWG-CrownVetch.pdf>
- Baxter, L. L., William, F., Anderson, W. F., Roger, N., Gates, R. N., Rios, F. E., & Hancock, D. W. (2022). Moving warm-season forage bermudagrass (*Cynodon* spp.) into temperate regions of North America. *Grass and Forage Science*, 77, 141-150.
- Berg, C. C., McElroy, A. R., & Kunelius, H. T. (1996) Timothy. In Moser, L. E., Buxton, D. R., & Casler, M. D. (Eds.), *Cool-season Forage Grasses* (pp. 643-664). Brooklyn, Nueva York, EE. UU: American Society of Agronomy.
- Bolaños G., M. A., Pellat P., F., Cruz G., C. O., Argumedeo E., J. A., Romero B., V. M., & De la Cruz Cabrera, J. C. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *TERRA Latinoamericana*, 34(3), 271–288.
- Borrajo C. I., Sanchez-Moreiras, A. M., & Reigosa, M. J. (2018). Morpho-physiological responses of tall wheatgrass populations to different levels of water stress, *PLOS ONE*, 13(12), 1-14.
- Brar, G. S., Gomez, J. F., McMichael, B. L., Matches, A. G., & Taylor, H. M. (1991). Germination of twenty forage legumes as influenced by temperature. *Agronomy Journal*, 83, 173-175.
- Britannica. (2018). *Crown vetch*. Encyclopedia Britannica. Recuperado de: <https://www.britannica.com/plant/crown-vetch>.

- Cardina, J., Hartwig, N., & Lukezic, F. (1986). Herbicidal Effects on Crown vetch Rhizobia and Nodule Activity. *Weed Science*, 34(3), 338-343.
- Ciria, C. S., Carlos M., Sastre, C. M., Carrasco, J., & Ciria, P. (2020). Tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum* (Podp)) in a real farm context, a sustainable perennial alternative to rye (*Secale cereale* L.) cultivation in marginal lands, *Industrial Crops and Products*, 146, 112184.
- CONAGUA. (2013). *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México* (Edición 2013). Coyacán, México.
- Cotler, H., López, C. A., & Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos?: Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México, *Investigación Ambiental y Política pública*, 3(2), 31-43.
- de Souza, C. H. L., Filho, C. C. F., Canny, R. S., Sharma, N., Saha, M., Wallau, M. O., Anderson, W., Baxter, L., Harris-Shultz, K., & Rios, E. F. (2023). Unraveling phenotypic diversity in *Cynodon* spp. germplasm for forage accumulation and nutritive value in the transition zone, *Crop Science*, 63, 690–704.
- Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments, *European Journal of Agronomy*, 21(4), 433-446.
- Dürr, C., & Aubertot, J. N. (2000). Emergence of seedlings of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by the size, roughness and position of aggregates in the seedbed. *Plant and Soil*, 219, 211–220.
- Ferreas, L., Toresani, S., Bacigaluppo, S., Dickei, M. J., Fernández, E., Bonel, B., & Bodrero, M. (2010). Rotaciones con gramíneas y cultivos de cobertura: una alternativa para la conservación biológica del suelo. INTA EEA. [Folleto]. <https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-alternativas-para-la-conservacion-biologica-del-suelo.pdf>.
- González, J. A., Velarde H., M. V., & Garza U., E. (2005). *Establecimiento de una pradera de Bermuda Tifton 68 en la Planicie Huasteca Potosina*. INIFAP-CIRNE. [Folleto]. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/104.pdf>
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., Vázquez-Alarcón, A., & Ruíz-Puga, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas, *Revista Chapingo. Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 45-66.
- Hancock, D. W., Edwards, N. R., Green, T. W., & Rehberg, D. M. (2013). *Selecting a Forage Bermudagrass Variety*. [Folleto]. [https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C %20919_3.PDF](https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20919_3.PDF)
- Hernández H., M. (2012). *Rendimiento, tasa de crecimiento y componentes morfológicos de tres variedades de Zacate Bermuda (Cynodon dactylon (L.) Pers) en el Valle de Mexicali*. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C.) Disponible en: <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/1997/1/AGR011670.pdf>

- Hernández, A. J. & Pastor, J. (2008). La restauración en sistemas con suelos degradados: estudio de casos en agroecosistemas mediterráneos y taludes de carretera. In *Contaminación de Suelos. Tecnologías para su Recuperación* (pp. 545-564). Millán, R., & Lobo, C. (Eds.): Ed. CIEMAT, Madrid.
- Höglind, M., Schapendonk, H. C. M., & van Oijen, M. (2001). Timothy Growth in Scandinavia: Combining Quantitative Information and Simulation Modelling, *The New Phytologist*, 151 (2), 355-367.
- Hubbard, M., Germida, J., & Vujanovic, V. (2012). Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress, *Botany*, 90(2): 137-149.
- Huerta O., J. J., Ríos B., J. D., Oropeza M., J. L., Martínez M., M. R., Guevara G., R. D., Ramírez A., C., & Velázquez M., J. (2012). Efecto del efecto radicular de cuatro cultivos en la erosión del suelo, *TERRA Latinoamericana*, 30(3), 271-278.
- Kanani, J. K., Lukefahr, S. D., & Stanko, R. L. (2006). Evaluation of tropical forage legumes (*Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Leucaena leucocephala* and *Desmanthus bicornutus*) for growing goats, *Small Ruminant Research*, 65, 1-7.
- Laguna L., E. (2001). Sobre el frijol flamenco o careto -*Lablab purpureus* (L.) Sweet- en tierras valencianas. *Flora Montiberica*, 17(5), 12-20.
- Li, H., Li, W., Zheng, Q., Zhao, M., Wang, J., Li, B., & Li, Z. (2023). Salinity Threshold of Tall Wheatgrass for Cultivation in Coastal Saline and Alkaline Land, *Agriculture*, 13, 337.
- Lloveras, J., & I. Iglesias, I. (2002). Morphological development and forage quality changes in crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.), *Grass and Forage Science*, 56(4), 395-404.
- Lok M., S., Crespo, G., & Torres, V. (2017). Influencia de las leguminosas forrajeras en el sistema suelo-pasto. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(2), 261-270.
- Maass, B.L., Knox, M. R., Venkatesha, S. C., Angessa, T. T., Ramme, S., & Pengelly, B.C. (2010). *Lablab purpureus*—A Crop Lost for Africa? *Tropical Plant Biology*, 3, 23-135.
- Mamani C., J. (2004). *Evaluation of agronomic performance of forages in Tiahuanaco*. (Tesis de licenciatura, Universidad Católica Boliviana, La Paz, Bolivia). Consultada en: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6394&context=etd>
- McCorkle, M. (1990). Mejoramiento de la producción andina de ovino y alpaca. Programa colaborativo de Apoyo a la Investigación en rumiantes menores: Lima, Perú.
- Moore, V., Davis, B., Poskaitis, M., Maul, J. E., Kucek, L. K., & Mirsky, S. (2020). Phenotypic and Nodule Microbial Diversity among Crimson Clover (*Trifolium incarnatum* L.) Accessions, *Agronomy*, 10, 1434.
- Nawaz, M. F., Bourrié, G., & Trolard, F. (2013). Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 291–309.

- Nord A., Miller, N. R., Mariki, W., Drinkwater, L., & Snapp S. (2020). Investigating the diverse potential of a multi-purpose legume, *Lablab purpureus* (L.) Sweet, for smallholder production in East Africa, *PLOS ONE*, 15(1), e0227739.
- Okubo, M., Takahashi, D., Fumiya, A., F., Shinoda, H., Deguchi, K., Shio, N., Masuko, T., & Souma, K. (2019). Changes in Water Soluble Carbohydrates Content of Timothy (*Phleum pratense* L.) in Pastures of TMR Centers over 4 Years. *American Journal of Plant Sciences*, 10, 276-284.
- Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Rojas-Hernández, S., & Castelán-Ortega, O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 739-748.
- Pérez P., J. M. (2014). *Estrategias para la renovación de praderas degradadas en la hacienda Los Pulpitos*. (Tesis Profesional, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas-Antioquia). Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1139/1/Estrategias_renovacion_praderas_degradadas_hacienda_los_Pulpitos.pdf
- Przemieniecki, S. W., Damszel, M., Kurowski, T. P., Mastalerz, J., & Kotlarz, K. (2018). Identification, ecological evaluation and phylogenetic analysis of non-symbiotic endophytic fungi colonizing timothy grass and perennial ryegrass grown in adjacent plots. *Grass and Forage Science*, 74, 42–52.
- Qi, M. Q., & Redmann, R. E. (1993). Seed germination and seedling survival of C3 and C4 grasses under water stress. *Journal of Arid Environments*, 24(3), 277–285.
- Reubens, B., Poesen, J., Danjon, F., Geudens, G., & Muys, B. (2007). The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. *Trees*, 21, 385–402.
- Rojas, Y. M., Rincón, J. J., Gallardo, Y. S., & Leal, M. (2004). Evaluación de frecuencias y alturas de corte en tres cultivares *Cynodon dactylon*, (L.) Pers., en condiciones de bosque muy seco tropical. II: Valor nutritivo. *Zootecnia Tropical*, 22(2), 191-201.
- Sánchez-Blanco, J., Sánchez-Blanco, C., Mario S., M. S. & Espinosa-García, F. J. (2012). Assessing introduced leguminosae in Mexico to identify potentially high-impact invasive species, *Acta Botanica Mexicana*, 100, 41-77.
- Sattell, R., Dick, R., Karow, R., Kaufman, D., Hemphill, D., Luna, J., & McGrath, D. (1998). Cereal rye (*Secale cereale* L.) [Folleto]. <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/qf85nb641>.
- Scheinost, P., Tilley, D., Ogle, D., & Stannard, M. (S/F). *Tall Wheatgrass Thinopyrum ponticum* (Podp.) [Folleto]. <https://www.nrcs.usda.gov/plantmaterials/wapmcp8366.pdf>
- Tabari, H., Aeini, A., Talaei P. H., Some'e, B. S. (2012). Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions of Iran, *Hydrological Processes*, 26(4), 500–512.

- Tomazi, C. (2015). *Produção e qualidade de forragem de trevo encarnado (Trifolium incarnatum L.) sob manejos de desfolha*. (Tesis profesional, Universidad de Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul). Consultado en: [https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/3350/TCC %20C %c3 %81SSIO %20TOMAZI %20-%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/3350/TCC%20C%C3%81SSIO%20TOMAZI%20-%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Tutiempo. (2022). Tutiempo.net. Madrid, España: *Índice ultravioleta en Texcoco de Mora*. Recuperado de: <https://www.tutiempo.net/indice-ultravioleta/texcoco-de-mora.html>
- Vann, R. A., Reberg-Horton, S. C., Castillo, M. S., McGee, R. J., & Mirsky, S. B. (2019). Winter pea, crimson clover, and hairy vetch planted in mixtures with small grains in the Southeast United States, *Agronomy Journal*, 3(2), 805-815.
- Vélez-Gavilán, J. (2016). *Securigera varia (crown vetch)*. Disponible en: <https://plantwisepiusknowledgebank.org/doi/10.1079/pwkb.species.17598>
- Vergiev, S. (2019). Tall Wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*): flood resilience, growth response to sea water immersion, and its capacity for erosion and flooding control of coastal areas, *Environments*, 6, 103.
- Vincent, M. A., & Duane, I. (2012). The Jepson Herbarium: University of California, Berkeley: *Trifolium incarnatum*. Disponible en: https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=47100
- Wheaton, H. N. (1993). *Crown vetch*. Disponible en: <https://extension.missouri.edu/publications/g4510> (consultado el 23 de abril de 2021).
- Wickline, B., & Rayburn, E. (2008). *Using Crimson Clover to Supply Nitrogen to a Silage Corn Crop*. West Virginia University Extension Service. Disponible en: <https://extension.wvu.edu/files/d/22d43533-1c5d-4455-a5f2-1b32e7c3dd38/crimson-clover-case-study.pdf>
- Young-Mathews, A. (2013). *Plant guide for crimson clover (Trifolium incarnatum)*. USDA-Natural Resources Conservation Service, Plant Materials Center, Corvallis, OR.
- Zheng, W., Li, Y. G., Gong, Q., Zhang, H. Q., Zhao, Z. Y., Zheng, Z. X., Zhai, B. N., & Wang, Z. H. (2016). Improving yield and water use efficiency of apple trees through intercrop-mulch of crown vetch (*Coronilla varia* L.) combined with different fertilizer treatments in the Loess Plateau, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14 (4), e1207.