

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

**TESINA PARA OBTENER EL GRADO DE:
ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE
ALIMENTOS**

**“FACTORES IMPLICADOS EN LA CALIDAD DEL FORRAJE
DE ALFALFA: *MEDICAGO SATIVA*”**

ESTUDIANTE:

AZUCENA DEL ROCÍO DÍAZ JAIMES

DIRECTOR:

DRA. LAURA MORALES LARA

CO-DIRECTOR:

DRA. IVONNE PÉREZ XOCHIPA

PUEBLA. PUE. 2020



BUAP

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE ALIMENTOS

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director de la Facultad de Ciencias Químicas
PRESENTE:

Con toda atención comunico que el alumno de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos:

Ing. Amb. Díaz Jaimes Azucena del Rocío
(219670689)

Toda vez que cuenta con la aprobación de los directores de tesina:

D.C. Laura Morales Lara
D.C. Ivonne Pérez Xochipa

Se autoriza su proyecto de **Tesina** denominado:

“Factores implicados en la calidad y producción del forraje de alfalfa (*Medicago sativa*)”

Con esta fecha queda registrada en la Dirección de esta Facultad para los fines legales que al interesado convengan.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., a 30 de marzo de 2020

D.C. Ivonne Pérez Xochipa

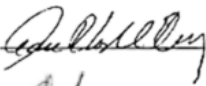
Coord. de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos

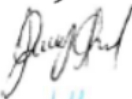





BUAP

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

D.C. Addí Rhode Navarro Cruz 

M.E.C. Obdulia Vera López 

D.C. Armando Mena Contla 

**Docentes de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos.
PRESENTE:**

Con toda atención comunico a Uds. que el comité académico de la especialidad consideró proponerlos como integrantes de la Comisión Revisora del alumno:

Ing. Amb. Díaz Jaimes Azucena del Rocío

Cuyo proyecto de **TESINA** se denomina:

“Factores implicados en la calidad y producción del forraje de alfalfa (*Medicago sativa*).”

Solicitándoles que en el término de una semana emitan el dictamen correspondiente a la revisión de la Tesina.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., a 1 de octubre de 2020.


D.C. Ivonne Pérez Xochipa
Coord. de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos





BUAP

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director de la Fac. de Cs. Químicas
PRESENTE:

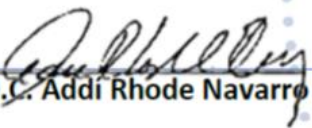
Los que suscriben, integrantes de la comisión revisora de la **Tesina** del alumno del posgrado
Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos:

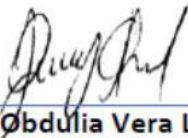
Ing. Amb. Díaz Jaimes Azucena del Rocío


Comunican a usted la aprobación de la misma con la siguiente redacción:

“Factores implicados en la calidad y producción del forraje de alfalfa (*Medicago sativa*).”

Con esta fecha queda registrada en la Dirección de esta Facultad para los fines legales que
al interesado convengan.


D.C. Addi Rhode Navarro Cruz


M.E.C. Abdulía Vera López


D.C. Armando Mena Contla

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., a 9 de octubre de 2020.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ANTECEDENTES.....	3
	2.1 IMPORTANCIA DEL FORRAJE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	3
	2.1.1 Leguminosas forrajeras	3
	2.1.1.1 Género <i>Medicago</i>	4
	2.2 PRODUCCIÓN DE ALFALFA FORRAJERA EN MÉXICO	9
	2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EXPORTACIÓN DE ALFALFA.....	11
	2.4 INDICADORES UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL FORRAJE.....	12
III.	JUSTIFICACIÓN.....	14
IV.	OBJETIVOS	15
	4.1 Objetivo General.....	15
	4.2 Objetivos específicos	15
V.	METODOLOGÍA	16
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
	6.1 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL FORRAJE	18
	6.1.1 Temperatura.....	19
	6.1.2 Relación Tallo: Hoja	20
	6.1.3 Estacionalidad	21
	6.1.4 Frecuencia de corte	22
	6.2 FACTORES QUE AFECTAN LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FORRAJE	24
	6.2.1 Características del suelo	24
	6.2.2 Irrigación.....	25
	6.2.3 Capacidad antioxidante	26
	6.2.4 Digestibilidad	27
	6.3 RIESGOS ASOCIADOS AL FORRAJE	29
	6.3.1 Marco legislativo	29
	6.3.2 Metales pesados.....	30
	6.3.3 Dioxinas	32
	6.3.4 Micotoxinas	32
	6.3.5 Plagas.....	34
	6.3.6 Microorganismos patógenos para la alfalfa	35
VII.	CONCLUSIONES	37
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales entidades productoras de acuerdo con el volumen de producción....	10
Tabla 2. Indicadores de producción 2012-2017.....	10
Tabla 3. Producción Agrícola de alfalfa al 31 de julio de 2020. Modalidad Riego más Temporal, cíclico-perenne.....	11
Tabla 5 Minerales: fuentes y bioacumulación en tejidos animales.....	31
Tabla 6 Incidencia y concentración de micotoxinas en alfalfa en Nuevo León, México.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de <i>M. sativa</i>	5
Figura 2. Estructuras desarrolladas de coronas de alfalfa a diferente edad.....	6
Figura 3. Desarrollo de distintos tipos de tamaños de coronas a diferente edad de la alfalfa.....	7
Figura 4. Distintas formas de folíolos en hojas trifoliadas de alfalfa.....	8
Figura 5. Florescencia de la alfalfa (<i>M. sativa</i> L.).....	9
Figura 6. Peletización de la alfalfa.....	12
Figura 7. Relación de la producción y digestibilidad con respecto a la edad de la alfalfa.	22
Figura 8. Comparación de los nutrientes del forraje según su estado fenológico.....	24

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa*) ha sido ampliamente utilizada alrededor del mundo en las regiones de clima templado como alimento forrajero para animales domésticos desde el origen de la agricultura, es por esto que ha sido objeto de estudio en muchas investigaciones a nivel mundial. En dichas investigaciones se ha destacado por sus propiedades nutricionales superiores a las de otros cultivos, entre sus características se encuentran su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales, alta digestibilidad y aporte de nutrientes, por lo que es considerada como la “reina” de los forrajes. Su uso en la industria alimenticia del ganado sigue siendo extenso debido a su aceptabilidad en el consumo animal, rentabilidad y productibilidad por unidad de superficie sembrada, además de su capacidad de rebrote. Recientes trabajos de investigación se han enfocado en el manejo de la alfalfa para la mejora de su producción y calidad, sin embargo, es importante considerar los factores que influyen en la calidad nutricional del forraje, así como en los riesgos implicados durante toda la cadena de producción del cultivo, debido al impacto que pueden ocasionar en la salud animal y en el consumo de los alimentos derivados del sector pecuario. Por esa razón se hizo una revisión bibliográfica de los estudios realizados en los últimos 20 años, en la cual se analizaron 75 artículos dándole prioridad a los más recientes, y se recopiló información de relevancia en cuanto a los factores implicados en la calidad del forraje de alfalfa.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y el aumento en el poder adquisitivo de algunos sectores poblacionales han sido causas principales de una mayor demanda de productos obtenidos de rumiantes grandes y pequeños, como la carne y leche, así como derivados lácteos. Esta demanda ha crecido sustancialmente en los próximos años, por lo que será necesario un alto nivel de producción de cultivos forrajeros. Desafortunadamente, se prevé que la urbanización de las tierras agrícolas, la disminución de disponibilidad de agua, las prácticas agrícolas intensivas y el cambio climático limitarán la producción de cultivos en el futuro, lo que significa que será esencial el desarrollo de cultivos forrajeros con productividad y adaptabilidad mejoradas (Singer *et al.*, 2018).

Dado que la alfalfa (*M. sativa*) es un cultivo forrajero perenne ampliamente cosechado, ha sido objeto de muchas investigaciones en este campo. La alfalfa tiene características destacadas en comparación con otros forrajes, debido a que su rendimiento y contenido proteico, así como su contenido de vitaminas y minerales son elevados, también es preferido porque presenta un porcentaje de fibra bajo. Estas características favorecen tanto a la salud animal, como a la producción láctea del ganado que lo consume; por otro lado, el impacto ambiental de su producción se refleja positivamente en el enriquecimiento de la concentración de nitrógeno presente en el suelo, gracias a la amplia capacidad metabólica de bacterias del género *Rhizobium* para fijar nitrógeno atmosférico en asociación con *M. sativa*, (Bouton, J. H., 2001). Además de todas estas características, la alfalfa también es una planta económica debido a su alta calidad, y productividad al ser una planta perenne que permitir múltiples cosechas en un año (Ayala *et al.*, 2006).

La alfalfa es un recurso forrajero cuya significativa importancia por su amplio uso alrededor del mundo como forraje para los animales lecheros y ganaderos, se origina en su alto valor nutritivo y alta digestibilidad, particularmente para los rumiantes (Deshpande *et al.*, 2002). La alfalfa se usa comúnmente para la nutrición

del ganado en diferentes formas como heno, ensilaje, deshidratada, en forma de briquetas y como pasturas abiertas para el pastoreo (Radovic *et al.*, 2009).

Con el propósito de acopiar información nutricional útil para la alimentación de rumiantes con recursos presentes en diversas zonas agroecológicas del país, se han realizado estudios para conocer la digestibilidad de las diferentes calidades de este forraje, lo que permitirá dar un paso importante hacia el desarrollo de sistemas de alimentación con orientación productiva (López *et al.*, 2001).

En esta revisión, se discutirá el progreso realizado hacia la mejora de la productividad, la calidad del forraje y la eficiencia en el uso de nutrientes, de acuerdo con el manejo de diferentes factores físicos, químicos y biotecnológicos. De la misma forma, se considerarán las expectativas que se plantean en investigaciones recientes en relación con los avances reportados para lograr mejoras adicionales en este cultivo como un medio para contribuir a la seguridad alimentaria en un entorno cambiante.

II. ANTECEDENTES

Se piensa que la alfalfa era una legumbre silvestre que tuvo su origen en el occidente de Asia, y que fueron los medos quienes comenzaron a cultivarla. Por este motivo se le dio el nombre científico de *Medicago sativa*, que significa “cultivada por los medos”. Esta leguminosa agradó tanto a los árabes que la apodaron *al-fasfasa*, “el mejor de los forrajes”, por ser un alimento para sus caballos que contribuía a su fuerza y velocidad, y desde esos tiempos ya era considerado excelente para consumo humano (Fraile *et al.*, 2007). En España, la palabra árabe *al-fasfasa* se transformó en “alfalfa”. Esta planta arribó al Nuevo Mundo por medio de los conquistadores, quienes la sembraron en México y Chile, y desde allí este cultivo fue extendiéndose a toda América (Russelle, 2001).

En los últimos años, se le ha atribuido las propiedades más benéficas, incluso para combatir enfermedades como el cáncer, aunque al respecto aún faltan investigaciones que lo sustenten científicamente (Gatouillat *et al.*, 2014).

2.1 IMPORTANCIA DEL FORRAJE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

La principal función de los forrajes es la alimentación y nutrición del ganado. Puede tener diferentes presentaciones como pastura, heno, ensilaje y raíces. Los forrajes tienen valor alimenticio para el hombre después de que han sido transformados por los animales en productos como carne y leche. Mediante el consumo de estos productos y sus derivados es como el hombre utiliza los forrajes para su aprovechamiento. Los animales como bovinos, equinos, cabras, e incluso más pequeños como conejos y gallinas, transforman el forraje en compuestos más simples mediante su ingesta para que sus nutrientes puedan ser absorbidos y sean empleados para su desarrollo y reproducción.

2.1.1 Leguminosas forrajeras

Las leguminosas forrajeras pueden categorizarse en dos grupos de acuerdo a la nutrición animal: las denominadas forrajeras y las leguminosas-grano. Entre las primeras se encuentran especies como alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*) y otras, utilizadas

tradicionalmente en la alimentación de los animales rumiantes como forraje (Rubio & Molina, 2016).

Si bien, las especies forrajeras son una fuente de alimento importante para el ganado, también destaca su importancia en el mejoramiento de la fertilidad del suelo, y se consideran como elemento importante en la rotación de cultivos agrícolas, además de sembrarse asociadas con gramíneas (Ramírez, 2010).

Berlijn refiere en el *El Manual para la Educación Agropecuaria: Cultivos forrajeros* que:

Las especies vegetales de interés forrajero se encuentran principalmente comprendidas en la familia de gramíneas y leguminosas. Además, se incluyen algunas especies de raíces como las que pertenecen a las familias quenopodiáceas, crucíferas y umbelíferas. A su vez, las gramíneas forrajeras incluyen pastos y cereales forrajeros. Casi todos los pastos forrajeros son especies perennes, mientras que los cereales forrajeros son especies anuales. Las leguminosas forrajeras se dividen en alfalfas, tréboles de olor, tréboles verdaderos y guisantes forrajeros. Las leguminosas forrajeras pueden ser especies anuales o perennes. Las especies raíces forrajeras incluyen principalmente la remolacha forrajera, los nabos y la zanahoria forrajeros. Estas son especies anuales. (Berlijn, 2010, p.9)

2.1.1.1 Género *Medicago*

“Los cultivos de alfalfa (*M. sativa*) son considerados los cultivos forrajeros más importantes, no sólo por la amplia superficie cultivada, sino también por su calidad nutritiva y diversidad de uso”. (Berlijn, 2010).

La alfalfa es una planta perenne, su sistema radicular es pivotante profundo, es decir, crece verticalmente hacia abajo, pudiendo alcanzar de siete hasta nueve metros de profundidad. Sus tallos nacen a partir de una corona a nivel del suelo. Alcanzan alturas variables entre 60 y

90 cm. Sus hojas son trifoliadas, la inflorescencia es un racimo. Sus flores son amariposadas de color púrpura. El fruto es una legumbre espiralada y las semillas son de color amarillo, verde oliváceo o marrón brillante. (Berlijn, 1990, p. 24)

En la siguiente imagen se detallan las características morfológicas de la mata de alfalfa (Figura 1).



Figura 1. Morfología de *M. sativa*. Planta de alfalfa en floración. Se observan las hojas trifoliadas con bordes dentados, así como la raíz larga bajo la corona. (Tomado de Fresquet, 2015).

Fresquet (2015) explica en su investigación la morfología del tallo de la alfalfa que:

El tallo primario es cuadrado en su sección transversal y presenta estomas y pelos. Son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto, es una planta muy adecuada para la siega. En su parte herbácea, presenta nudos desde donde nacen las hojas. No solo tiene crecimiento primario, sino que también posee un crecimiento

secundario que da origen a un eje leñoso o porción perenne, que forma parte de la corona. El número de los tallos depende de la edad y el vigor de la planta, y puede llegar hasta 20. El crecimiento de los tallos es inducido de acuerdo con su utilización (pastoreo o corte) o por un nuevo ciclo fisiológico de crecimiento. Además de su constitución morfológica, es conveniente resaltar la importancia funcional de la corona como estructura almacenadora de sustancias de reserva y sede de yemas a partir de las cuales se producirán los nuevos brotes de la planta, condicionando así las prácticas de manejo del cultivo. (p. 7)

De tal manera que el tamaño de las estructuras que desarrolla, y el tipo de la corona dependen de factores genéticos, ambientales y edad de la planta (Figura 2 A-D y 3 A-C) (Basigalup *et al.*, 2007).

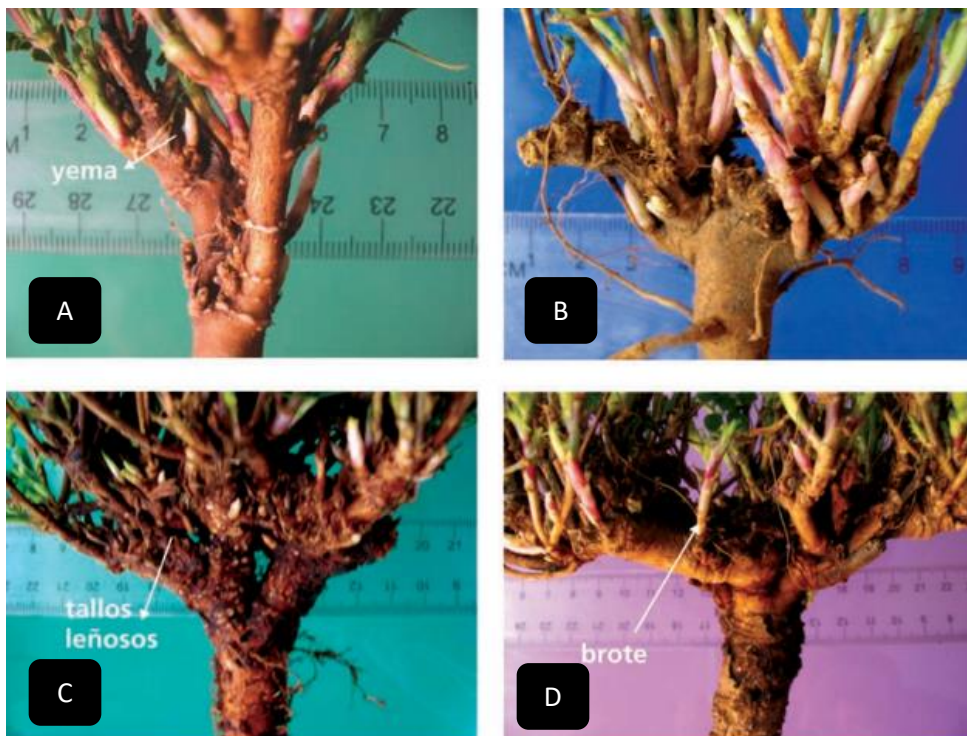


Figura 2. Estructuras desarrolladas en coronas de alfalfa a diferente edad. **(A)** Yema en planta de un año de vida, **(B)** Planta de dos años de vida, **(C)** Tallos leñosos en planta de tres años de vida y **(D)** Brote en planta de cuatro años de vida. Tomado de Basigalup, 2007.



Figura 3. Desarrollo de distintos tipos de tamaños de coronas a diferente edad de la alfalfa. **(A)** Planta de un año de edad. **(B)** Planta de dos años de edad. **(C)** Planta de tres años de edad. Tomado de Basigalup, 2007.

Fresquet menciona también dentro de la morfología de las hojas de alfalfa que:

“Son trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Se originan en el ápice del tallo (peciolo). Posteriormente, cuando la planta ya está desarrollada, las hojas pueden originarse del peciolo o de las yemas laterales ubicadas en los nudos de los tallos. Los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados. Los folíolos de 5-20 mm de largo y 3-10 mm de ancho, son obovados o sublineales, dentados en el ápice, situados muy próximos en paralelo sin llegar a unirse con pelos finos y cortos. La hoja es entera o dentada en la base”. (2015, p.8) (Figura 4 A-F).

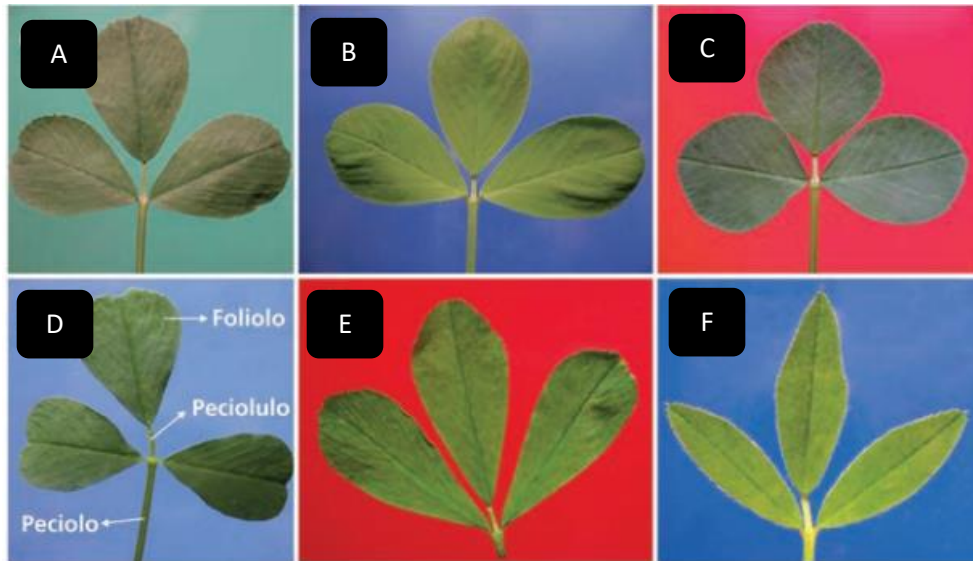


Figura 4. Distintas formas de foliolos en hojas trifoliadas de alfalfa. **(A)** Obovados. **(B)** Oblongos. **(C)** Redondeados. **(D)** Acorazonados. **(E)** Espatulados. **(F)** Lineales. Tomado de Basigalup, 2007.

Por otra parte, Fresquet describe a las flores y frutos característicos de la alfalfa de la siguiente manera:

Son de color azul, violeta o púrpura, con inflorescencias en racimos pedunculados que nacen en las axilas de las hojas, el pedúnculo es mucho más largo que el pecíolo. La flor tiene 5 sépalos en el primer verticilo, 5 pétalos (1 estandarte, 2 alas y 2 pétalos fusionados formando la quilla que recubre los órganos reproductivos) en el segundo verticilo, 9 estambres (antera + filamento) fusionados en un tubo estaminal y uno libre en el tercer verticilo, y un carpelo en el cuarto verticilo. La corola tiene unos 6-12 mm de largo. Los frutos se disponen en espirales siniestras flojas de 1-4 giros, glabras a pilosas. Es una legumbre indehisciente sin espinas que contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1.5 a 2.5 mm de longitud. (2015, p.8)

Detalles de la florescencia de la alfalfa se muestran en la Figura 5 A-C.

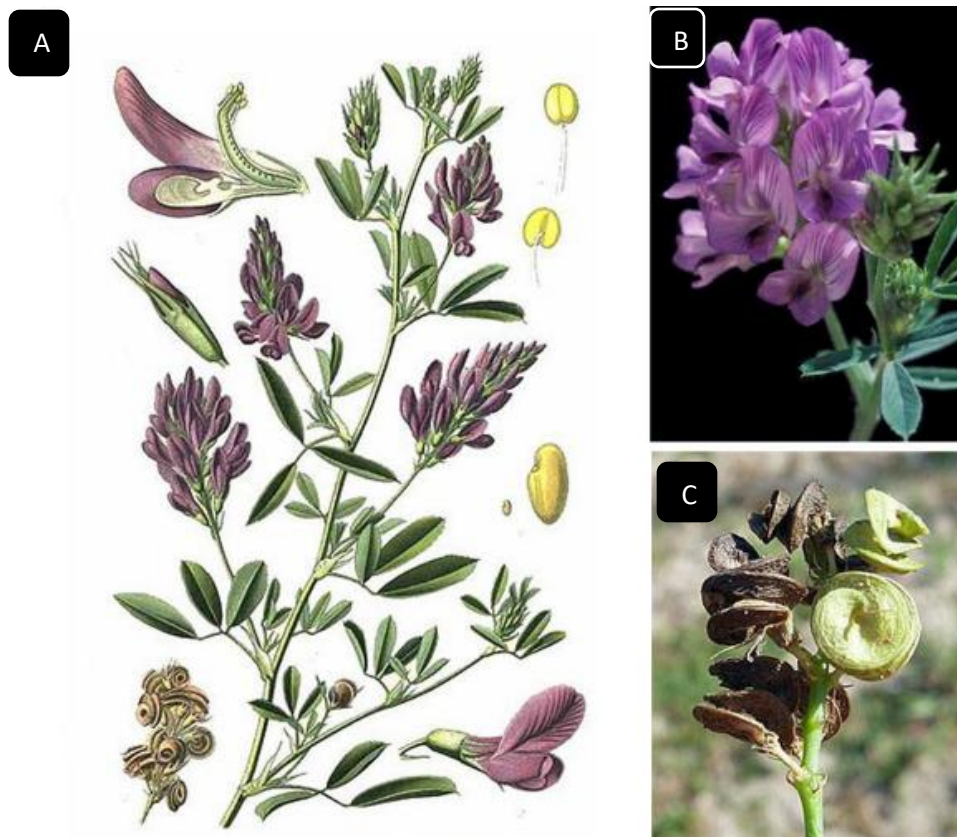


Figura 5. Florescencia de la alfalfa (*M. sativa* L.). **(A)** Órganos vegetativos (hojas trifoliadas con bordes dentados), órganos florales, frutos en espiral y semillas. **(B)** Detalle de una inflorescencia con flores en antesis. **(C)** Detalle de los frutos en hélice siniestra. Tomado de Fresquet, 2015.

2.2 PRODUCCIÓN DE ALFALFA FORRAJERA EN MÉXICO

La alfalfa tiene un lugar importante en México como parte de la alimentación de ganado, debido a su alto potencial productivo y sus propiedades nutricionales. Su producción ha aumentado en la última década en el país a 27.3% en la producción nacional de forrajes (SIAP, 2018). La venta de la alfalfa generó 3 mil 395 millones de pesos a los productores. El estado de Chihuahua es el primer productor nacional del forraje, tiene la mayor superficie de siembra para el cultivo: 86 mil 140 hectáreas en 2017. La Tabla 1 muestra las principales entidades productoras de alfalfa en el país en donde destacan principalmente los países del norte de México (SIAP, 2020). Del 2012 al 2017 se registró un rendimiento de 87.7 Toneladas/hectárea (Tabla 2) (SIAP, 2020).

Tabla 1. Principales entidades productoras de acuerdo con el volumen de producción.

Lugar	Entidad federativa	Volumen (toneladas)		Variación (%) 2012-2017
		2012	2017	
	Total nacional	31,019,937	33,785,861	8.9
1	Chihuahua	6,104,083	7,653,744	25.4
2	Hidalgo	4,624,331	4,607,135	-0.4
3	Guanajuato	3,595,989	3,575,703	-0.6
4	Durango	2,449,185	2,669,451	9
5	Baja California	2,013,920	2,486,175	23.4
6	Sonora	2,088,051	1,927,180	-7.7
7	San Luis Potosí	1,569,348	1,865,003	18.8
8	Coahuila	1,729,325	1,698,982	-1.8
9	Puebla	1,309,905	1,501,133	14.6
10	Zacatecas	856,869	1,301,521	52.0
	Resto	4,678,930	4,498,834	-3.8

Tomado de SIAP, 2020.

Tabla 2. Indicadores de producción 2012-2017.

		Superficie		Vol	Valor	Rendimiento	Precio Medio Rural
		Sembrada	Cosechada				
		(Miles de hectáreas)		Miles de ton	Millones de pesos	Ton/ha	Pesos/ton
		386	385	33,786	16,879	87.7	500
% Variación	Anual 2016-2017	-0.4	-0.4	2.0	5.1	2.4	3.0
	TMAC 2012-2017	-0.3	-0.1	1.7	2.2	1.9	0.5

Tomado de SIAP, 2020.

La superficie disponible para siembra ha disminuido, no obstante, la producción y el valor han aumentado un 1.7 y 2.2% respectivamente de acuerdo con la tasa anual de crecimiento. Así mismo, el rendimiento ha sido mayor y el precio ha aumentado con el paso del tiempo.

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, la producción nacional promedio anual en los últimos 10 años es de 30 millones 950 mil toneladas (SIAP, 2020), lo que ha posibilitado cumplir con los requisitos productivos para el consumo ganadero mexicano. Los datos de cierre de la producción de alfalfa del año 2018 señalan 33.6 millones de toneladas, de acuerdo con el reporte del avance de siembras y cosechas al mes de septiembre del mismo

año con una mayor cosecha entre los meses de mayo y septiembre en un 55.8% del volumen anual (SIAP, 2018).

El Anuario Estadístico de la Producción Agrícola reporta una producción de 33,711,846.23 toneladas de alfalfa en el año 2018 con un valor de 18,522,355.08 miles de pesos y un rendimiento del 87.30 udm/ha (udm: unidad de medida/ha: hectárea) (Tabla 3).

Tabla 3. Producción Agrícola de alfalfa al 31 de julio de 2020. Modalidad Riego más Temporal, cíclico-perenne.

CULTIVO	SUPERFICIE (HA)		PRODUCCIÓN (TON)	RENDIMIENTO (UDM/HA)
	SEMBRADA	COSECHADA		
ALFALFA	385,992	384,962	23,327,089	70.986

Tomado de SIAP, 2020.

Pese a la gran producción nacional y su amplio uso como forraje, la información disponible en cuanto al manejo estacional óptimo de la alfalfa es poca, es por esto que se requiere una mayor investigación del tema para generar información en las diferentes regiones del país donde se cultiva, de acuerdo a las condiciones ambientales de cada región (Villegas *et al.*, 2004).

2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EXPORTACIÓN DE ALFALFA

México tiene numerosos hatos ganaderos que demandan un volumen continuo de forrajes en fresco. México tiene la capacidad para producir las cantidades necesarias e incluso generar un excedente el volumen de alfalfa para su exportación.

SIAP señala a Japón, China y Corea del Sur como las naciones que compran mayores toneladas de forraje a otros países. La venta mexicana no se limita a la venta de forraje fresco a nivel nacional, sino que también tiene aptitudes para venderla en diferentes presentaciones como pellets y harina (SIAP, 2020) (Figura 6).



Figura 6. Peletización de la alfalfa. Procedimiento desarrollado a través de presión y calor que convierte una mezcla de ingredientes molidos en cilindros aglomerados (pellets) (Morales, 2019).

Según datos del Atlas Agroalimentario 2012-2017, las exportaciones nacionales del forraje se comercializaron principalmente con Estados Unidos y Emiratos Árabes Unidos, quienes respectivamente adquirieron 89.2% y 10% del volumen. Hasta el 2017, eran cinco los países de destino del forraje mexicano, uno más al número registrado en 2012 (SIAP, 2018).

En el periodo 2012-2017 hubo una disminución en el volumen de importaciones de un 26% y aumento en el de exportaciones de un 9%. Siendo el año 2014 donde se captaron 15.4 millones de dólares, y el año 2013 cuando se realizaron menos importaciones (SIAP, 2018).

2.4 INDICADORES UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL FORRAJE

Existen varios parámetros de calidad de la alfalfa, que van a condicionar la respuesta del ganado, su nivel de ingestión se reflejará en su respuesta productiva, función y destino del ganado y sus derivados, a consecuencia del valor nutritivo de este forraje. Estos parámetros se describen a continuación de acuerdo con la Guía de Manejo de la Alfalfa (por sus siglas en inglés AMG, *Alfalfa Management Guide*):

La fibra detergente ácida (ADF) es el porcentaje de material altamente indigesto, debido a que este proceso presenta digestión lenta en un alimento o forraje. Esta fracción incluye celulosa, lignina, pectina y cenizas. Un ADF más bajo indica un forraje más digerible y es más deseable.

La fibra detergente neutra (NDF) es el porcentaje de paredes celulares o fibra en un alimento que se digiere en un tiempo específico (generalmente 24, 30 o 38 horas). El NDFD está inversamente relacionado con la ingesta de animales y la energía que un animal puede derivar de un alimento.

La digestibilidad de la fibra de detergente neutro (NDFD) es el porcentaje del NDF que es digerido por los animales en un período de tiempo específico (generalmente 24, 30 o 48 horas).

Los nutrientes digeribles totales (TDN) son la suma de la proteína cruda digerible, los carbohidratos no fibrosos, la grasa (multiplicada por 2.25) y el NDF digerible menos 7.

La calidad relativa del forraje (RFQ) es un índice utilizado para clasificar los forrajes por la ingesta potencial de materia digerible donde se considera que 150 ordeñan alimentos de calidad láctea y se necesitan índices más bajos para otras categorías de animales.

La proteína cruda (CP) es una mezcla de proteína verdadera y nitrógeno no proteico. Se determina midiendo el nitrógeno total y multiplicando este número por 6.25. El contenido de proteína cruda indica la capacidad del alimento para satisfacer las necesidades de proteína de un animal. En general, es deseable una CP moderada a alta, ya que esto reduce la necesidad de proteínas suplementarias. El corte de forraje temprano o con un mayor porcentaje de hojas tiene altas cantidades de CP.

La proteína no degradada del rumen (también llamada proteína de derivación) es esa porción de la proteína que no se degrada en el rumen. Se necesita algo de proteína de derivación para los animales lecheros de alta producción.

III. JUSTIFICACIÓN

El incremento de la población alrededor del mundo genera efectos adversos socio-económicos, políticos y medio ambientales, que, entre otros problemas graves, destacan la necesidad de mayor demanda de productos animales, particularmente de rumiantes por su producción de cárnicos y lácteos, así como sus derivados. Se espera que esta demanda presente un crecimiento importante en los siguientes años, sin embargo, se contempla que diferentes factores como la urbanización de tierras para cultivo, prácticas agrícolas intensas y cambios climáticos puedan influir negativa y severamente en la producción de cosechas en el futuro, por lo que ha aumentado la atención en el mejoramiento de la productividad y adaptabilidad de cultivos de forraje.

Debido a que la alfalfa es uno de los forrajes perennes más ampliamente cultivados en todas las regiones del mundo, este campo ha sido blanco de investigación, por lo que en este trabajo se realizará una revisión sobre los progresos que se han hecho sobre los avances en la identificación de agentes físicos, químicos y biotecnológicos que repercuten en la calidad nutricional de la alfalfa para el mejoramiento de su productividad, tolerancia al estrés abiótico, así como el uso de tecnología para el mejoramiento de este cultivo en un contexto cambiante.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los avances en la identificación de agentes físicos, químicos y biotecnológicos que repercuten en la calidad nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa*).

4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información relacionada con los factores físicos, químicos y biotecnológicos que influyen en la calidad nutricional de la alfalfa.
- Identificar y clasificar la información relacionada con los efectos de la calidad nutricional de la alfalfa en la calidad del forraje.

V. METODOLOGÍA

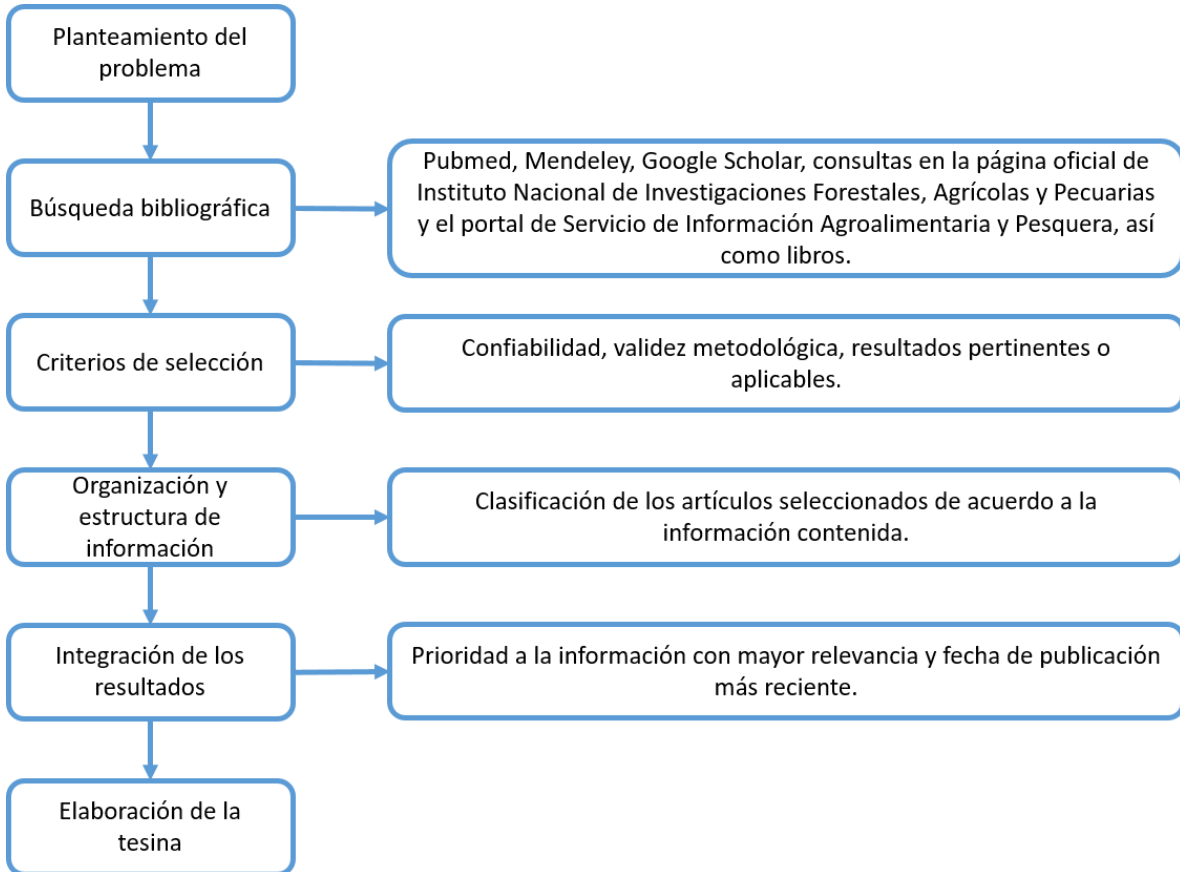
Las fases que se siguieron en la metodología de la revisión documental fueron: búsqueda de referencias, análisis de la información, selección de bibliografía, organización de las fuentes y redacción de la tesina. En la búsqueda de información se emplearon palabras clave como “Alfalfa”, “*Medicago sativa*” y “Lucerne” para la obtención de datos generales sobre el tema. Posteriormente, se identificaron los elementos de interés sobre los cuales se han elaborado trabajos de investigación, así se hizo una búsqueda más puntual para la recopilación de datos específicos utilizando palabras clave como “factores de crecimiento en la alfalfa”, “valores nutritivos de la alfalfa”, “alimentación con *M. sativa*”, “avances tecnológicos en la producción de alfalfa”, “plagas de alfalfa en México”, “capacidad antioxidante de la alfalfa”, “forraje en México”, “inocuidad microbiológica de alfalfa”, “herbicidas, pesticidas, plaguicidas en la alfalfa” y su traducción en inglés.

Se utilizaron artículos, libros, revistas de divulgación científica y tecnológica publicados de distintas fuentes de consulta. Entre las bases de datos que fueron utilizadas se encuentran: Pubmed, Mendeley, Google Scholar, consultas en la página oficial de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y el portal de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, así como libros. La información se recopiló para hacer una primera selección de las referencias mediante la lectura de los resúmenes y conclusiones de los artículos eligiendo aquellos con mayor confiabilidad, validez metodológica y resultados pertinentes o aplicables.

Posteriormente, se organizó la documentación encontrada en carpetas de acuerdo al tema: antecedentes históricos, morfología, producción, componentes nutricionales y riesgos asociados al cultivo. Se realizó nuevamente una selección de las referencias, priorizando los documentos con los aspectos más relevantes y

recientes. Una vez seleccionados, se estructuró la información para redactar la tesina.

DIAGRAMA DE TRABAJO



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL FORRAJE

Robinson *et al.*, define la calidad del forraje como:

El potencial de producir una respuesta deseada de los animales de un determinado consumo de forraje. La respuesta de los animales se puede medir como la producción de leche, el crecimiento de los animales, carne o producción de lana y/o la salud en general. Sin embargo, la calidad del forraje no es una característica intrínseca de una planta. La definición y la optimización de la calidad del forraje dependen de la especie y la clase de animales, etapa de la vida, y la mezcla de otros alimentos en la ración. Por lo tanto, la calidad del forraje óptimo es una función de ambos factores de animales y plantas. (2007, p.3)

La necesidad de nutrientes de un animal depende principalmente de su edad, sexo y estado de producción. El máximo beneficio se obtiene al adaptar la calidad del forraje a las necesidades de los animales. Una calidad inferior a la óptima da como resultado un rendimiento animal reducido o un aumento de los costos de los suplementos. Por el contrario, alimentar a los animales con forraje de mayor calidad de lo que necesitan desperdicia nutrientes no utilizados que son caros de producir y pueden ocasionar problemas de salud animal (Undersander & Consgrove, 2011).

Los factores ambientales, el manejo agrícola y los organismos en el ecosistema circundante, interactúan con los cultivos de alfalfa. El dosel vegetal y la estructura de la corona permiten una amplia adaptación. Además, el sistema de raíces profundas y extensas crea un entorno de gran riqueza biológica en el suelo. Así, el incremento en rendimiento y sus componentes dependerán de la influencia de los factores ambientales como temperatura, radiación fotosintéticamente activa y fotoperiodo; así como de factores de manejo agrícola como la frecuencia e intensidad de corte o defoliación (Luna *et al.*, 2018).

Aunque la relación utilizada para desarrollar ecuaciones de predicción para el rendimiento de los animales a partir de la ingesta y la digestibilidad a menudo son menos precisas de lo deseado, la digestibilidad y la ingesta de forrajes se han utilizado para formar índices de calidad del forraje (Coleman & Moore, 2003).

Con el objetivo de explorar las mejores condiciones para el cultivo de la alfalfa, se debe prestar atención especial al momento de la cosecha. Esto representa, de hecho, una variable extremadamente importante, ya que es una compensación entre cantidad, calidad, calendario anual de producción y duración de la pradera (Teixeira *et al.*, 2008). Además, estos parámetros están estrictamente vinculados a las condiciones climáticas y técnicas de manejo como el riego, tipo de suelo, cosecha, etc. (Sánchez *et al.*, 2010), así como la capacidad de regeneración de las variedades (Dhont *et al.*, 2003) y requerimientos nutricionales del ganado.

6.1.1 Temperatura

La temperatura que se presenta durante el crecimiento afecta la calidad del forraje. Por ejemplo, la alfalfa cultivada durante el clima frío tiende a producir forraje de mayor calidad en comparación con la alfalfa cultivada durante los períodos cálidos, suponiendo que todas las cosechas estén igualmente libres de malezas y en la misma etapa de madurez (Undersander & Cosgrove, 2011). En el invierno se presentan condiciones ambientales óptimas para el crecimiento de la alfalfa, ya que durante esos meses la temperatura promedio fluctúa entre 19 y 21 °C.

Quiroga compara su trabajo investigativo con datos del crecimiento de la alfalfa con una temperatura óptima entre los 15 y 25 °C durante el día y de 10 a 20 °C durante la noche. También obtiene datos de otros trabajos donde se establece un rango de 25 a 30 °C como la temperatura óptima.

De igual manera, expone que en otros trabajos se ha encontrado que la mayor actividad y translocación de carbohidratos a la corona y a la raíz ocurre cuando la planta crece en un rango de temperaturas de 21°C en el día y 8 °C durante la noche, reduciéndose en temperaturas más bajas (12/2 °C) y aún más en las altas (34/25° C), esto debido a una disminución del metabolismo en los climas fríos y un

incremento en la tasa de respiración en los climas cálidos, puesto que la tasa de asimilación neta de CO₂ se incrementa con una mayor temperatura (Quiroga, 2013).

La calidad del forraje también está influenciada por la hora del día en que se corta la alfalfa. Las plantas convierten azúcares y almidones en energía en un proceso llamado respiración. La respiración después del corte disminuye la calidad del forraje y se detiene solo secando el forraje. Por lo tanto, el mejor momento para cortar la alfalfa es en la mañana para acelerar el secado y capturar azúcares y almidón para obtener heno de mayor calidad (Undersander & Cosgrove, 2011).

6.1.2 Relación Tallo: Hoja

Rivas *et al.*, en el 2005, publican que una relación tallo: hoja menor se presenta en las variedades de alfalfa que producen el mayor rendimiento de materia seca, de esta manera se afirma la importancia que tiene la variabilidad de peso y altura del tallo con respecto a las hojas, es decir, que a mayor altura menor proporción de hoja, y esto está relacionado con la fase de crecimiento del forraje.

Otra investigación (Popovic *et al.*, 2001) asegura que la cantidad de proteína en las hojas y en el tallo dependen de la edad del cultivo, caso contrario del contenido de fibra cruda y materia seca, los cuales no presentan variaciones, por lo tanto, el corte debe definirse por una combinación de variables de la especie que se esté evaluando.

Otros autores (Teixera *et al.*, 2011), mencionan que la aparición de hojas primarias es mayor cuando la alfalfa está en su fase de rebrote, en la fase reproductiva o destinada a la producción de semilla, y esto repercute en la intercepción de luz, y la acumulación de biomasa en raíz, y por lo tanto en el rendimiento total de biomasa y la calidad nutritiva del forraje (Montes *et al.*, 2016).

Rojas *et al.*, (2019), evaluaron que el contenido de proteína estuvo influenciado por los intervalos de corte y por la estación del año. Así, en la estación de invierno se favoreció una mayor concentración de proteína (38%), cuando se realizaron cosechas cada 4 semanas, en cambio, en verano, realizando cosechas cada 6

semanas, el contenido de proteína disminuyó a 23.4%. Estos resultados sugirieron que intervalos de corte cada 7 o 6 semanas disminuyen el contenido de proteína de las hojas siendo aproximado a 34.1% en invierno, 32.4% en otoño, y en las estaciones más calurosas disminuyó a 31.6% en primavera y 28.4% en verano. En cuanto al contenido de proteína en tallos, se manifestó el mismo patrón en todas las estaciones con una mayor la concentración de proteína a menor intervalo de corte. Los resultados revelaron que conforme incrementa la edad de las plantas, el contenido de proteína de hojas y tallos es menor.

6.1.3 Estacionalidad

Rojas *et al.*, cita que, de acuerdo a otros autores, para una cosecha óptima, el intervalo de corte debe basarse en la velocidad de crecimiento estacional de la alfalfa:

Las diferencias en el rendimiento promedio de forraje para cada intervalo de corte y estación del año evidencian un franco efecto combinado del intervalo de corte y de la estación, probablemente por efecto de las temperaturas mínimas en otoño e invierno. Aunque, esta aseveración obliga a considerar un intervalo de cosecha específico para cada estación del año. Rojas *et al.* al evaluar diferentes variedades de alfalfa en el valle de México reportaron en las estaciones con temperatura mayor, un rendimiento de forraje mayor, y viceversa, manejando un intervalo de corte de 6, 5 y 4 semanas para invierno, otoño y primavera-verano. (2017, p. 853)

Quiroga *et al.*, en el 2013 reportaron que un mayor desarrollo de la planta en la estación de verano, gracias a la temperatura y el fotoperiodo, este crecimiento disminuye el intervalo entre cortes, favoreciendo la producción de materia seca. La alfalfa es una especie de día largo, es decir, que florece más rápidamente con fotoperiodos largos; por lo tanto, en las estaciones del año con los días más cortos, necesita mayor suma térmica para llegar al momento de corte (Bonvilani *et al.*, 2019).

Villegas *et al.*, en el 2004 señalaron que los cultivos de alfalfa presentan una dinámica de crecimiento que puede cambiar según la variedad, por lo que es importante considerar los cambios en la velocidad de rebrote respecto a la estación del año, atendiendo así, a las particularidades que requiere el manejo de cada variedad para mejorar la producción del cultivo.

6.1.4 Frecuencia de corte

La producción de alfalfa por corte aumenta conforme madura la planta en el periodo de crecimiento y el incremento entre intervalos de cortes. La producción puede duplicarse si la alfalfa es cosechada entre el periodo de prefloración y estado de floración completa (Fresquet, 2015). Rojas *et al.*, (2017) señalan que es importante conocer la velocidad de rebrote de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte para determinar el momento óptimo de cosecha y obtener un alto rendimiento. Como ya se mencionó antes, el intervalo de corte puede ser determinado con base a la velocidad de crecimiento de la alfalfa en los periodos estaciones, por lo que es importante considerar la relación que existe entre la producción y digestibilidad con respecto a la edad de la alfalfa (Figura 7) (Hernández *et al.*, 2012).

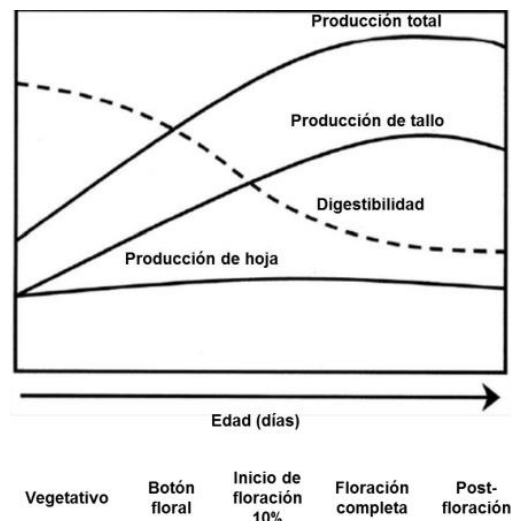


Figura 7. Relación de la producción y digestibilidad con respecto a la edad de la alfalfa (Montoya, 2011).

Rojas et al., (2019) mostraron que el intervalo de corte debe establecerse con base al estado de desarrollo de la planta debido a que éste es influenciado por las condiciones ambientales, por ende, el intervalo de corte óptimo debe estimarse para cada estación del año.

Realizar cortes con base a la dinámica de crecimiento, considerando las variables de tasa de crecimiento, relación hoja: tallo, composición botánica y altura, permiten determinar el momento óptimo de defoliación para obtener el mejor contenido de hoja con respecto al tallo, mejor altura y menor proporción de material muerto, lo que permite obtener un forraje de mejor calidad. Estas afirmaciones son coherentes con otro estudio donde se sostiene que las dinámicas de crecimiento determinan el comportamiento fenológico del cultivo en las diferentes épocas del año, el cual varía dependiendo de las condiciones ambientales que se presenten. (Montes *et al.*, 2016).

A mayor frecuencia de corte se reduce la movilidad de nitrógeno en las raíces, lo que puede provocar una reducción en la capacidad fotosintética de los brotes de las hojas luego de la defoliación, reduciendo las tasas de desarrollo foliar y en consecuencia, el rendimiento de forraje (Teixeira & Brown, 2008). Gaytán et al., (2019) estipula de acuerdo a sus resultados que a mayor edad de la pradera se necesitan periodos de descanso más amplios entre cortes.

Es fundamental el estudio de la dinámica de crecimiento para establecer los períodos de defoliación en que los cultivos tengan potenciales de producción similares en diferentes épocas del año. La transferencia de digestibilidad y potencial de consumo que inciden en calidad de forraje y productividad, tiene su origen en el momento óptimo de corte (Catanni, 2011).

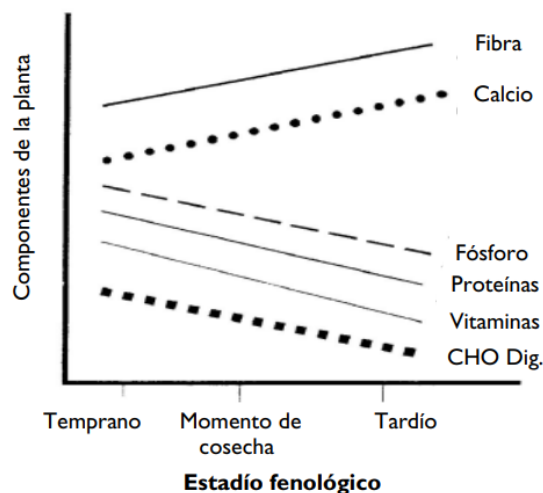


Figura 8. Comparación de los nutrientes del forraje según su estado fenológico (Bragachini *et al.*, 2008).

6.2 FACTORES QUE AFECTAN LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FORRAJE

6.2.1 Características del suelo

Una alta producción de forraje de alfalfa requiere suelos con una profundidad mayor a 1.2 metros, bien aireados, de reacción casi neutra con un pH 7 ± 5 y buena fertilidad donde es importante la cantidad de fósforo y, en menor proporción azufre (Basigalup *et al.*, 2007).

La presencia de nutrientes en el suelo, como nitrógeno, fósforo y potasio son limitantes en la producción del cultivo. Una estrategia de economizar y mantener el contenido de estos nutrientes consiste en emplear una fuente orgánica como el estiércol, cuyo uso contribuye a mayor disponibilidad y presencia de los nutrientes durante un mayor plazo, lo que mejora la calidad nutritiva de los suelos (Vázquez *et al.*, 2010).

La combinación de prácticas apropiadas de manejo agronómico del estiércol con los sistemas de cultivo de gramíneas y leguminosas, evita el efecto negativo del estiércol a largo plazo en la calidad del suelo y de los pastos, reduce la dependencia del fertilizante nitrogenado y la adquisición de productos (heno, leguminosas y

semillas de gramíneas) para alimentación animal por el mercado y se abstiene de la selección del proceso de actividad biológica (mantenimiento de la biodiversidad) entre las bacterias rizobianas en el suelo (Annicchiarico *et al.*, 2011).

En el estudio realizado por Annicchiarico *et al.*, se muestra el manejo del estiércol en relación con sus aplicaciones en el cultivo. Los resultados evidenciaron una oportunidad agronómica para utilizar estiércol de granjas lecheras para la producción de forrajes, reduciendo el daño ecológico causado por el producto de desecho.

6.2.2 Irrigación

La limitación del agua se ha convertido en una preocupación importante para la agricultura. Tales restricciones refuerzan la necesidad urgente de comprender los mecanismos por los cuales las plantas hacen frente a la escasez de agua (Sánchez *et al.*, 2012).

La producción agrícola de forraje depende de un suministro de agua adecuado, una dependencia que puede volverse problemática en climas semiáridos, especialmente donde los efectos locales debido al cambio climático aumentan la probabilidad de sequías de verano. El suministro insuficiente de agua puede afectar fuertemente la producción de leguminosas forrajeras, lo que resulta en una disminución de los rendimientos, dependiendo de la gravedad y la duración del estrés por sequía (Liu *et al.*, 2018).

Liu *et al.*, (2018) reportan que, en un estudio realizado en China, la fuerte sequía provocó una disminución en el rendimiento del heno, una disminución en el contenido de proteína cruda y un aumento en la fibra. Estos efectos pueden disminuir la digestibilidad, sin embargo, como la proporción de proteína cruda por carbohidratos solubles en agua disminuyó conforme a la sequía, esto podría reducir el excedente de nitrógeno en rumiantes. Observaron diferencias entre los dos cultivos de alfalfa probados, tanto en su rendimiento sometido a un suministro de agua óptimo como en su respuesta al estrés por sequía, obteniendo con Gold Queen un mejor rendimiento que con el cultivo Suntory.

Por otra parte, de acuerdo a los resultados de Holman *et al.*, (2016), la proteína cruda y los nutrientes digestibles totales tienden a disminuir a medida que aumenta el riego. La concentración de ADF tendió a disminuir a medida que disminuyó el riego y cuanto menor es la concentración de ADF, mejor es la digestibilidad del forraje; por lo tanto, reducir las cantidades de riego podría mejorar la digestibilidad del forraje. Los resultados de este estudio sugieren que el valor nutritivo del forraje puede mejorarse utilizando cantidades menores de riego, a costa de un rendimiento reducido de alfalfa y rendimientos netos.

Así mismo, Rogers *et al.*, (2014) sugieren que en temporadas donde el riego está restringido debido al suministro limitado de agua, la reducción en la productividad de la alfalfa no está asociada con una penalización en las características nutritivas del forraje, con la alfalfa capaz de proporcionar suficientes nutrientes para formar una gran proporción de la dieta total para una vaca lechera de alta producción.

6.2.3 Capacidad antioxidante

Otra característica que ha despertado el interés de los investigadores de cultivos vegetales es su elevada capacidad antioxidante, la cual se ha relacionado con su elevada producción de compuestos fenólicos, identificándose principalmente a los flavonoides, los cuales son excelentes quelantes de hierro y radicales libres. Sin embargo, se han identificado también otras estrategias que pudieran contribuir de manera importante a su capacidad antioxidante, al disminuir la presencia de especies reactivas de oxígeno e hidropéroxidos orgánicos, como puede ser mediante la inhibición de oxidasas (lipoxigenasa, ciclooxigenasa, mieloperoxidasa, NADPH oxidasa y xantina oxidasa). En cambio, algunas enzimas que contribuyen a las propiedades antioxidantes son catalasa y superóxido dismutasa (Ciappini *et al.*, 2015).

Los flavonoides, como uno de los ingredientes biológicamente activos de la alfalfa, promueven significativamente el crecimiento, mejoran la calidad cárnica y aumentan la inmunidad en un cierto rango de aditivos en el ganado (Xiong *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2009). Los flavonoides pueden promover el crecimiento animal al actuar sobre el eje de crecimiento del órgano hipotalámico-pituitario-objetivo del animal. Los

flavonoides de alfalfa que se agregan a la dieta con 300 mg/kg aumentaron significativamente la ingesta de alimento, la ganancia diaria promedio y el peso final, y redujeron la grasa abdominal en gansos de Yangzhou (Chen *et al.*, 2016).

Torres *et al.*, en 2017 demostraron que la producción de compuestos fenólicos como la capacidad antioxidante de la alfalfa incrementaron a concentraciones cada vez mayores de plata adicionada a medios de cultivo. Sugiriendo que la producción de fenoles en respuesta al estrés inducido por el metal representa una respuesta adaptativa de los cultivos celulares, y también se identifica la producción de otras moléculas con poder antioxidante, como precursores de lignina (Torres, 2017).

6.2.4 Digestibilidad

La lignina es el factor más importante que limita la digestión de la pared celular; sin embargo, es a través de la comprensión de los detalles de la lignificación del forraje y cómo esto impacta el proceso de digestión que la calidad del forraje mejorará. Esta comprensión ofrece nuevas oportunidades para desarrollar forrajes con mayor digestibilidad de la pared celular. Aunque esta relación negativa a menudo se informa para la digestibilidad de la materia seca, la lignina en realidad está afectando la digestibilidad de la pared celular y no la digestión de los nutrientes que no son de la pared celular (Jung, 2012).

La materia orgánica (MO) de tejidos vegetales se encuentra en 35 a 85% en la pared celular, este contenido es importante, pues las biomacromoléculas que la conforman presentan una función principalmente de estructura y rigidez para la célula vegetal. Por lo que es importante considerar su impacto en los animales que la consumen, debido a que su alto consumo, promueve una digestibilidad pobre, lo que trae como consecuencia menor asimilación de fuentes de obtención de energía. Y conforme la madurez de la planta se incrementa, se forma una pared secundaria con un elevado contenido de compuestos aromáticos que modifican negativamente el proceso de digestión (Ramírez, 2003).

Niwinska *et al.*, (2005) identificaron que la etapa de madurez de la alfalfa cosechada influye en la tasa de digestibilidad de Materia Seca (MS) y Contenido Celular (CC)

a lo largo del tracto alimenticio pero este efecto no fue significativo para proteína cruda (CP), fibra cruda (CF), fibra detergente neutra (NDF), fibra detergente ácida (ADF), hemicelulosas (HE) y celulosa (CE). Las diferencias en los valores nutritivos de los diferentes cortes de alfalfa son el resultado de las diferencias en la composición química y los procesos de digestión en el tracto alimentario de los rumiantes.

Con el desarrollo de alfalfa reducida en lignina (RL) de la *Samuel Roberts Noble Foundation* y la *U.S. Dairy Forage Research Center*, y *Forage Genetics International* (FGI), en 2000 bajo el nombre del Consorcio para la Mejora de la Alfalfa (CAI), se abrió paso la investigación genética de la vía biosintética de la lignina para los efectos sobre la composición del forraje de alfalfa, la digestibilidad de la fibra y el rendimiento agronómico. Este descubrimiento, que se verificó en otros ensayos de digestibilidad, representó el primer paso en el desarrollo y comercialización de la alfalfa RL. En comparación con los cultivos comerciales, la alfalfa reducida en lignina (RL) ha mostrado consistentemente una reducción del 15% en el contenido de lignina de toda la planta y un aumento del 10-15% en la digestibilidad de la fibra de detergente neutro (NDFD) y la calidad relativa del alimento (RFQ). Por otra parte, para el potencial de rendimiento de forraje, la proteína cruda y la fibra de detergente neutro (NDF) de la alfalfa RL no se portaron diferencias sustanciales (Barros & Dixon, 2019). El contenido de NDF proporciona una estimación de la celulosa, hemicelulosa y contenido de lignina y está inversamente relacionado con la ingesta voluntaria de forraje; ADF incluye lignina y celulosa y se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la pared celular (Liu *et al.*, 2018).

Un análisis bromatológico mostrará el contenido de nutrimentos, indicando el contenido de materia seca, proteína bruta, fibra bruta, materia orgánica y cenizas. La digestibilidad se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula (Cáceres *et al.*, 2000):

$$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{\text{Kg Ingerido} - \text{Kg excretado}}{\text{Kg Ingerido}} \times 100$$

Donde los kilogramos ingeridos son igual a la diferencia de peso entre el forraje ofrecido y el forraje rechazado.

6.3 RIESGOS ASOCIADOS AL FORRAJE

6.3.1 Marco legislativo

Dentro de la normativa a nivel internacional para la calidad e inocuidad de los forrajes, tiene autoridad La Comisión FAO/OMS del *Codex Alimentarius* mediante la adopción del Código de prácticas sobre buena alimentación animal.

A partir de entonces ha crecido un interés en las organizaciones gubernamentales y del sector privado para en la aplicación del Código mediante un esfuerzo conjunto. La introducción del enfoque de la cadena alimentaria en el suministro de alimentos sanos, inocuos y nutritivos es una responsabilidad compartida a lo largo de la entera cadena alimentaria que ha destacado la importancia de la inocuidad de los piensos (FAO/OMS, 2007).

El objetivo del Código es contribuir a garantizar la inocuidad de los alimentos para consumo humano mediante la aplicación de buenas prácticas de alimentación animal en las fincas y de buenas prácticas de fabricación (BPF) a lo largo de toda la cadena de producción de piensos destinados a alimentación de animales de los que se obtienen alimentos (FAO/OMS, 2004).

La FAO señala que:

El Código contempla la producción y utilización de todos los materiales que se emplean en los piensos y en sus ingredientes a todos los niveles, tanto en la producción industrial como en las fincas. Abarca asimismo el pastoreo o apacentamiento en libertad, la producción de cultivos forrajeros y la acuicultura. En cumplimiento del mandato del Código de protección del consumidor, el Código sólo contempla temas relacionados con la inocuidad de los alimentos y no abarca, por tanto, cuestiones de bienestar animal a excepción de aquellos aspectos de la sanidad animal que guardan estrecha relación con la inocuidad alimentaria. Los contaminantes ambientales se toman en

consideración siempre que el nivel de tales sustancias en los piensos y sus ingredientes pueda suponer un riesgo para la salud de los consumidores derivado del consumo de alimentos de origen animal. (FAO, 2007, p.7)

En México, las principales agencias encargadas de la inocuidad de los alimentos frescos y procesados son la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) cuyo objetivo es:

“Propiciar el ejercicio de una política de apoyo que permita producir mejor, aprovechar mejor las ventajas comparativas de nuestro sector agropecuario, integrar las actividades del medio rural a las cadenas productivas del resto de la economía, y estimular la colaboración de las organizaciones de productores con programas y proyectos propios, así como con las metas y objetivos propuestos, para el sector agropecuario, en el Plan Nacional de Desarrollo.” (SADER, 2020)

El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) es un órgano administrativo desconcentrado de la SADER, el cual protege los recursos agrícolas, acuícolas y pecuarios de plagas y enfermedades de importancia cuarentenaria. También regula y promueve la aplicación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación de los alimentos y su calidad agroalimentaria (SENASICA, 2020).

Estos organismos junto con Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), han trabajado conjuntamente para el fortalecimiento de la regulación y vigilancia de plaguicidas, sustancias tóxicas y nutrientes vegetales. (COFEPRIS, 2019).

6.3.2 Metales pesados

El cadmio es un contaminante ubicuo, presente en numerosos piensos e ingredientes de piensos, sobre todo minerales, así como en forrajes que crecen cerca de las áreas de fundición y extracción del metal. El arsénico y el mercurio son

metales pesados presentes de manera extensiva en el medio ambiente, que pueden encontrarse en el medio ambiente y en muchos piensos, en particular, en piensos de origen marino. El plomo es también un contaminante ubicuo (FAO/OMS, 2007).

En la tabla 5 se presentan los minerales de mayor relevancia, así como sus fuentes y bioacumulación en los tejidos animales.

Tabla 4 Minerales: fuentes y bioacumulación en tejidos animales.

MINERAL	FUENTES	BIOACUMULACIÓN EN TEJIDOS ANIMALES
ARSÉNICO INORGÁNICO	Plantas marinas, productos de pescado y suplementos de minerales.	Pescado.
CADMIO	Suplementos de minerales (como las fuentes de fosfato y zinc). Forrajes/granos (dependiendo de la zona geográfica). Estiércol, aguas y lodos residuales, o fertilizantes de fosfato que puedan enriquecer la tierra.	Riñón e hígado. Los mariscos, ostras, salmón y hongos, presentan las concentraciones más altas. Hay bajas concentraciones en frutas, productos lácteos, leguminosas, carne, huevos y aves.
PLOMO	Tierra contaminada, pinturas con plomo, agua de sistemas de tuberías que contienen plomo y pilas. Suplementos minerales (sulfato de cobre, sulfato de zinc, óxido de zinc). El plomo también es un contaminante natural del carbonato de calcio (piedra caliza) en algunas regiones.	Huesos, cerebro y riñón.
MERCURIO/ METILO DE MERCURIO	Contaminación antropogénica y harina de pescado.	Hígado, riñones. Pescado, mamíferos marinos.

Tomado de National Research Council, 2005.

En un ensayo realizado en Quito se contaminaron artificialmente 24 especies vegetales, 12 de *M. sativa* y 12 de *Taraxacum officinale*, con tres concentraciones de plomo en solución. Luego de exponer a las plantas al contaminante, se analizó el contenido de plomo en las raíces, tallos y hojas de las plantas por espectrofotometría de absorción atómica. La mayor concentración de plomo absorbida por la alfalfa fue de 0.586 mg/kg mientras que para la especie *Taraxacum officinale* fue de 0.822 mg/kg. Aunque la absorción de plomo por parte de las plantas de la especie *M. Sativa* fue menor, su tolerancia al tóxico fue mayor ya que no se

evidenció un proceso de marchitamiento severo o muerte de individuos en ninguna de las concentraciones ensayadas (González, 2014).

6.3.3 Dioxinas

Se han notificado numerosos casos de contaminación por dioxinas de fuentes imprevistas que han puesto de manifiesto que las dioxinas pueden ser características de un producto (por ejemplo, minerales de la arcilla), pueden formarse durante el proceso de calentamiento (por ejemplo, la cal en la pulpa de cítricos, residuos de panadería secos), o pueden surgir por el uso de madera tratada en la producción animal, la harina de hierba o pellet de hierba obtenida de la hierba desecada y suministrada directamente como alimento, los humos de combustión y los pastizales situados cerca de las plantas contaminantes (FAO, 2014).

Se afirma que la mayor parte de los casos de exposición humana a las dioxinas tiene su origen en los alimentos de origen animal, cuya carga de dioxinas procede a su vez principalmente de los piensos. La carga de dioxinas en los animales procede a su vez principalmente de los piensos. Las dioxinas se acumulan en la grasa a niveles elevados, por lo que incluso niveles extremadamente bajos de dioxina en los piensos pueden llegar a ser significativos a lo largo de la vida de un animal y generar residuos inaceptables en alimentos destinados al consumo humano como carne, leche y huevos (FAO, 2014). Se han desarrollado modelos teórico-científicos para estimar las tasas de transferencia de dioxinas a los tejidos animales. Los resultados experimentales reflejan lo que resultó en un valor de aproximadamente 40 a 60% de absorción del suelo en comparación con alrededor del 90% de absorción por ingestión de alimentos (Van Eijkeren, 2006).

6.3.4 Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos filamentosos específicos que son contaminantes comunes en productos agrícolas. Estos compuestos son tóxicos para humanos y animales, y un problema de salud en el mundo. Los alimentos con micotoxinas pueden causar graves enfermedades en animales de granja y pérdidas económicas sustanciales (Toral, 2008).

El desarrollo fúngico se previene secando las materias primas (en particular el maíz), con almacenamientos a baja temperatura, así como con la adición de conservantes o antifúngicos. La técnica más utilizada hoy en día para reducir los efectos tóxicos de las micotoxinas es la adición de absorbentes, que impiden que ejerzan su acción tóxica en el organismo del animal. Su desventaja es que no todos son efectivos para todas las micotoxinas y que, a veces, pueden unirse a los nutrientes e impedir que el animal los absorba (Toral, 2008).

El principal problema asociado con la alimentación de animales contaminados con micotoxinas no son los episodios agudos de enfermedad sino la ingestión de toxinas de bajo nivel que pueden causar una variedad de alteraciones metabólicas que resultan en una baja productividad animal. Las micotoxinas más frecuentes en los piensos animales incluyen las aflatoxinas, deoxinivalenol, zearalenona, fumonisinas, ocratoxinas A, y toxinas T-2 / HT-2 (Bryden, 2012). El crecimiento de hongos y su capacidad para producir micotoxinas en el forraje está influenciado por interacciones complejas de factores abióticos y bióticos, como la agresividad de las especies de hongos, la susceptibilidad del hospedador, factores ambientales (temperatura o disponibilidad de agua) y sistemas agrotecnológicos (Huerta *et al.*, 2016).

Dichas micotoxinas fueron analizadas por Huerta *et al.*, (2016) en un estudio para determinar la presencia y niveles de éstas en alfalfa, sorgo y zacate vendidos al menudeo en el estado de Nuevo León, México. Todas las muestras presentaron contaminación por micotoxinas (al menos dos micotoxinas en la misma muestra). La alfalfa tuvo la mayor incidencia de contaminación múltiple, las seis micotoxinas analizadas se encontraron en 15 de 40 muestras de alfalfa (37.5 %). En la tabla 6 se muestra a incidencia y concentración reportados para las muestras de alfalfa.

Tabla 5 Incidencia y concentración de micotoxinas en alfalfa en Nuevo León, México.

MICOTOXINA	MUESTRAS POSITIVAS	CONCENTRACIÓN (MG KG-1)
AFLATOXINA	25 (62.5%)	2.77
OCRATOXINA	39 (97.5%)	32.74

ZEARALENONA	40 (100%)	199.56
T-2/HT-2	40 (100%)	93.71
DEOXINIVALENOL	37 (92.5%)	470
FUMONISINA	22 (55%)	91

Adaptado de Huerta, 2006.

6.3.5 Plagas

Las plagas de la alfalfa retardan su desarrollo, defolian las plantas, disminuyen el desarrollo de semillas y matan a las plantas. Igualmente, son vectores de virus o crean puntos de entrada para hongos y bacterias patógenas que atacan el follaje, tallos o raíces y a las vainas en desarrollo. El control químico de los insectos plaga de la alfalfa ha encontrado algunas limitantes, como son: un uso excesivo de insecticidas y la necesidad de reducir los costos de producción. El incremento de la superficie sembrada y las técnicas inadecuadas de producción, entre otros factores, han causado que la alfalfa tenga más problemas de plagas y enfermedades. Un número relativamente grande de especies de insectos están asociados al cultivo de alfalfa, muchos de los cuales son benéficos porque participan en la polinización de flores o como depredadores y parasitoides de otras especies de insectos. Se han encontrado hasta 76 especies de coleópteros cuyas poblaciones varían con las estaciones del año, con la etapa fenológica de la alfalfa y con el corte. Sin embargo, entre las plagas más importantes están: *Therioaphis trifolii*, *Acyrtosiphun pisum*, *Philaenus spumarius*, *Empoasca fabae* e *Hypera postica* (Alarcón *et al.*, 2008).

Se ha estudiado el comportamiento de los compuestos activos: clorpirifosetil, fosmet, malatión y metil-pirimifos, insecticidas de la familia química de los órgano-fosforados y del cihalotrín como producto de referencia de los piretroides sintéticos. Son eficientes las mezclas del cihalotrín con cada uno de los órgano-fosforados mencionados, además de la mezcla de la cipermetrina + metil-pirimifos, contra: *Phytonomus variabilis*, *Apion* sp., *Sitona* sp., *Colaspidema atrum*, *Acyrtosiphon pisum* entre otros áfidos y *Sminthurus viridis*, conjunto de insectos que afectan especialmente la producción de forraje de alfalfa (Alarcón *et al.*, 2008).

En México, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, junto con la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera, sugieren un conjunto de insecticidas para controlar las plagas de la alfalfa.

6.3.6 Microorganismos patógenos para la alfalfa

La marchitez bacteriana y la mancha bacteriana son dos de las enfermedades de interés en la alfalfa. Las plantas dañadas se encuentran comúnmente dispersas en el cultivo y presentan color verde amarillento (moteado), hojas enrolladas y achaparradas. Los síntomas de plantas enfermas son más evidentes en los rebrotes después del corte, en caso de la mancha bacteriana las plántulas infectadas pueden mostrar ahogamiento o severa reducción del tamaño, especialmente con alta temperatura. La marchitez bacteriana es causada por *Clavibacter michiganense sp. insidiosus* (McCulloch) y la mancha bacteriana por *Xanthomonas campestris pv. Alfalfae* (Tapia *et al.*, 2016).

Los hongos son el grupo de organismos que más atacan a la alfalfa, estos pueden penetrar a la planta hospedera ya sea a través de la cutícula o por aberturas naturales invadiendo el sistema vascular y causando marchitamiento. La ocurrencia y severidad de la enfermedad está en función principalmente de la temperatura y humedad ambiental. El viento y el agua son los dispersores más importantes de esporas, aunque algunas son transportadas por insectos o a través de la semilla. En general, la época de mayor incidencia de enfermedades fúngicas es en verano, seguido de invierno por la presencia de corrientes marinas húmedas provenientes del Golfo de México. Las plantas tienen varios mecanismos de defensa inherentes, como son la producción de proteínas, las cuales limitan la infección de los hongos patógenos. Estas proteínas están involucradas tanto en la resistencia constitutiva como la inducida por el ataque del patógeno. Generalmente inhiben la síntesis de las paredes celulares del hongo o promueven la ruptura de la estructura y/o función de su pared; otras perturban la estructura de membrana del hongo, resultando en una lisis celular. Algunos hongos, como *Phoma medicaginis*, estimulan la producción de fitoestrógenos, como el cumestrol, que afectan la ovulación de las

ovejas al consumir el forraje enfermo. Varias especies de *Fusarium spp.* producen micotoxinas letales para los animales (Alarcón *et al.*, 2008).

Tapia *et al.*, (2016) encontraron la presencia de *Oídium spp.*, observando síntomas de manchas blancas en las hojas; mediante cámara húmeda observaron también *Stemphylium spp.*, hongo *Fitopatógeno* causante de manchas foliares. Además, se encontró *Aspergillus spp.*, un hongo filamentoso. Entre los nematodos que se reportan que son de interés económico para el cultivo de alfalfa esta *Ditylenchus dipsaci*, *Meloidogyne hapla* y *M. chitwoodi*. El daño que se causa depende de la raza del nematodo, principalmente en el género *Meloidogyne*. Por otra parte, reporta resultados favorecedores para reducir el crecimiento de hongos fitopatógenos de alfalfa con *T. harzianum* mediante su capacidad antagónica.

Con respecto a los virus que afectan a los cultivos de alfalfa, estos pueden transmitirse por medio de semillas o por vectores, en su mayoría áfidos. Los síntomas que causan son: mosaicos, plantas enanas y malformaciones de alguna parte de la planta. Se han encontrado 31 virus que infectan a la alfalfa a nivel mundial, sus síntomas pueden ser confundidos con los producidos por bacterias u hongos, atacan generalmente a las plántulas, sin embargo, se considera que la alfalfa es tolerante a las infecciones virales y su incidencia es baja (Alarcón *et al.*, 2008).

VII. CONCLUSIONES

Se encontraron 75 referencias de las cuales 55 son artículos científicos, 4 manuales, 2 libros, 10 tesis, 2 guías y 3 páginas web que corresponde a los Servicios de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), de México. Se seleccionaron las referencias de acuerdo a la pertinencia al tema de interés. Con respecto a la confiabilidad, se seleccionaron los artículos encontrados en las plataformas como Mendeley, PubMed y en el caso de Google Scholar se aseguró que fueran publicados en revistas electrónicas reconocidas como es el caso de *Science* y *Redalyc*. Para la búsqueda de información nacional y local se seleccionaron aquellos artículos publicados por la página de SIAP y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. De igual manera se recopiló información perteneciente a la FAO e IFI con respecto a la inocuidad en los piensos.

Con base a la revisión bibliográfica realizada, se concluye que los factores implicados en la calidad del forraje de *Medicago sativa* actúan de manera interrelacionada y compleja pues se deben considerar propiedades intrínsecas de este importante forraje y de su cosecha, así como los factores físicos, químicos, genéticos y microbiológicos relacionados con la planta, y del medio en el que se desarrolla, que van a influir en su calidad. Destaca que el factor de mayor relevancia en la calidad del forraje es la edad de corte y la frecuencia con que es realizado, puesto que determina el rendimiento de materia seca, proteína y digestibilidad del forraje. Es importante considerar particularmente la estacionalidad si lo que se busca es aumentar la producción. El máximo objetivo es alcanzar un punto de equilibrio donde se mejore la producción del cultivo sin sacrificar la calidad. El corte debe definirse por una combinación de variables de la especie que se esté evaluando, asimismo, deben tenerse en cuenta las condiciones medioambientales en las que se cultiva la alfalfa ya que influyen en el crecimiento del cultivo. Igualmente, debe considerarse la frecuencia de riego, aun cuando se ha

demostrado la adaptabilidad de la alfalfa al suministro limitado de agua. Además, existen riesgos asociados al cultivo de la alfalfa, los cuales deben ser atendidos y prevenidos para evitar pérdidas económicas. En México, no existe una legislación que determine los parámetros de inocuidad para el forraje de alfalfa, aun cuando la producción y exportación ha crecido en los últimos años de manera significativa. Los resultados de las publicaciones revisadas destacan también, la necesidad de impulsar la producción de alfalfa en nuestro país, para garantizar la inocuidad en la cadena alimentaria añadiendo mejoras al rendimiento y calidad nutricional del forraje, lo cual puede influir de manera importante en la productividad del ganado que lo consume.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, Z. B., Espinosa, T. E. Galicia, J. M., & Espinosa, C. O. (2008) Manual de Plagas y Enfermedades de la Alfalfa (Medicago Sativa) Fundación Hidalgo Produce A.C. México.
- Améndola, R., Castillo, E., & Martínez, P. A. (2005). Forage Resource Profiles. Mexico. In: Food and Agriculture Organization (ed.) Country Pasture Profiles. Rome, Italy.
- Annicchiarico, G., Catenolo, G., Rossi, E., & Martiniello, P. (2011). Effect of manure vs. fertilizer inputs on productivity of forage crop models. *International journal of environmental research and public health*, 8(6), 1893-1913. DOI: 10.3390/ijerph8061893
- Ayala, J. M., Victoria, J. L. J., Velasco, V. A. V., Aparicio, Y. V., Del Valle, J. R. E., & Garay, A. H. (2006). Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 44(3), 277-288. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61344301>
- Barros, J., Temple, S., & Dixon, R. A. (2019). Development and commercialization of reduced lignin alfalfa. *Current opinion in biotechnology*, 56, 48-54. DOI: 10.1016/j.copbio.2018.09.003
- Basigalup, D. H., Rossanigo, R. O., Rodríguez, N. E., Spada, M. D. C., Collino, D. J., Dardanelli, J. L., & Ardila, F. (2007). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Ediciones INTA. Argentina. (II) pp. 30-39.
- Berlijn J. D. (2010). Cultivos forrajeros. Manuales para la Educación Agropecuaria. Editorial Trillas. 3era edición. pp.9-24
- Bonvillani, J., Ohanian, A., González, S., Salusso, N., Ohanian, I., Pereyra, T., & Pagliaricci, H. (2019). Efecto de la temperatura y fotoperíodo durante la germinación y emergencia de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con distintos grados de reposo invernal. *Ab Intus*, 2(3).
- Bouton, J.H. (2001). Alfalfa. In: Gomide J.A, Mattos, W.R.S. & da Silva, S.C. (eds.). *Proceedings XIX International Grassland Congress*, Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil, 11–21 February 2001. pp 545–547
- Bragachini, M., Cattani, P., Gallardo, M., & Peiretti, J. (2008). Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional (High quality conserved forage and aspects related to nutritional management). Córdoba, Argentina: INTA EEA.
- Cáceres, O. & González E. (2000) Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales. *Pastos y Forrajes*, 23 (2), pp.87-103
- Cattani, P. (2011). Henificación, conservación de forrajes. *Portal TodoAgro. com. ar [en línea]*.
- Chen, J. S., Tang, F. L., Zhu, R. F., Gao, C., Di, G. L., & Zhang, Y. X. (2012). Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *Afr. J. Biotechnol.* 11:4782-4790.
- Chen, Y., Gong, X., Li, G., Lin, M., Huo, Y., Li, S., & Zhao, G. (2016). Effects of dietary alfalfa flavonoids extraction on growth performance, organ development and blood biochemical indexes of Yangzhou geese aged from 28 to 70 days. *Animal Nutrition*, Vol 2 (Issue 4), 318-322.

- Ciappini, M. C., Stoppani, F. S., Martinet, R., & Alvarez, M. B. (2015). Actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en mieles de tréboles, eucalipto y alfalfa. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (19), 45-51.
- COFEPRIS (2019). Formaliza Gobierno Federal integración de Grupo Intersecretarial para Regulación sobre Plaguicidas. Consultado en: <https://www.gob.mx/cofepris/articulos/80746>
- Coleman, S.W., & Moore J.E. (2003). Feed quality animal performance. *Field Crops Res.*, 84: 17-29.
- Deshpande, S.D., Sokhansanj, S., & Irudayaraj, J. (2002). Effect of moisture content and storage temperature on rate of respiration of alfalfa. *Biosyst. Eng.* 82 (1), 79–86.
- Dhont, C., Castonguay, Y., Nadeau, P., Bélanger, G., & Chalifour, F.P. (2003). Alfalfa root nitrogen reserves and regrowth potential in response to fall harvests. *Crop Sci.* 43, 181–194.
- FAO (2014). Buenas prácticas para la industria de piensos – Implementación del Código de Prácticas Sobre Buena Alimentación Animal. Manual FAO de producción y sanidad animal. No 9. Roma.
- FAO/OMS. 2004. Código de prácticas sobre buena alimentación animal (CAC/RCP 54-2004) Roma. http://www.codexalimentarius.net/download/standards/10080/CXC_054_2004ss.pdf
- FAO/OMS. (2007) Informe de la reunión conjunta FAO/OMS de expertos. El impacto de los piensos en la inocuidad de los alimentos. FAO, Roma. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-a1507s.pdf>
- Fraile, M. E., García, S. D., Martínez, B. A., & Slomianski, R. (2007). Nutritivas y apetecibles: conozca de leguminosas comestibles. Parte I: hojas, vainas y semillas. *Contactos*, 66, 27-35.
- Fresquet, C. S. (2015). Diseño y validación de herramientas biotecnológicas para la mejora del valor nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València)
- Gatouillat, G., Alabdul-Magid, A., Bertin, E., Okiemy-Akeli, M. G., Morjani, H., Lavaud, C., & Madoulet, C. (2014). Cytotoxicity and apoptosis induced by alfalfa (*Medicago sativa*) leaf extracts in sensitive and multidrug-resistant tumor cells. *Nutrition and cancer*, 66(3), 483-491.
- Gaytán Valencia, J. A., Castro Rivera, R., Villegas Aparicio, Y., Aguilar Benítez, G., Solís Oba, M. M., Carrillo Rodríguez, J. C., & Negrete Sánchez, L. O. (2019). Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de la pradera y frecuencias de defoliación. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(2), 353-366.
- González B., & Hernán, R. (2014). Recuperación de Suelos Contaminados con Metales Utilizando Especies Vegetales-Fitoremediación (Bachelor's thesis, Quito). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323104>
- Guía de requisitos de acceso de alimentos a México. (2016). Servicios al exportador. Prom Perú. Perú. Pp. 5-6. Disponible en: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/Guia-Mexico2016.pdf>

- Hernández, G. A., Pérez, P. J., & Hernández, G. V. A. (1992). Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*, 2:131-144.
- Hernández, G. A., Martínez, H. P. A., Zaragoza, E. J., Vaquera, H. H., Osnaya, G. H. F., Joaquín, T. B. M. & Velasco, Z. M. E. (2012). Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad de pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:259-266.
- Holman, J., Min, D. H., Klocke, N., Kisekka, I., & Currie, R. (2016). Effects of irrigation amount and timing on alfalfa nutritive value. *Transactions of the ASABE*, 59(4), 849-860.
- Huerta, T. A, Dávila, A. J. E., Sánchez, E., Heredia, N., & García, S. (2016). Occurrence of mycotoxins in alfalfa (*Medicago sativa* L.), sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], and grass (*Cenchrus ciliaris* L.) retailed in the state of Nuevo León, México. *Agrociencia*, 50(7), 825-836.
- Jung, H. G. (2012). Forage digestibility: the intersection of cell wall lignification and plant tissue anatomy. In *Proceedings of the 23rd annual Florida ruminant nutrition symposium* (pp. 162-174).
- Liu, Y., Wu, Q., Ge, G., Han, G., & Jia, Y. (2018). Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. *BMC plant biology*, 18(1), 13.
- López, A., Morales, S., Cabrera, C., & Arias, M. (2001). Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (*Lama glama*). II. heno de trébol rosado (*Trifolium pratense*), heno de ballica (*Lolium multiflorum*), paja de poroto (*Phaseolus vulgaris*) y paja de avena (*Avena sativa*): Intake and apparent digestibility of forages in llamas (*Lama glama*). II. clover hay (*Trifolium pratense*), regrass hay (*Lolium multiflorum*), beans straw (*Phaseolus vulgaris*) and oat straw (*Avena sativa*). *Archivos de medicina veterinaria*, 33(2), 145-152.
- Luna, G. M. J., López C. C., Hernández, G. A., Martínez, H. P. A., & Ortega, C. M. E. (2018). Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(3),486-505.
- Mendoza., S. I., Hernández, G. A., Pérez, P.J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A. S., Zaragoza, R. J. L., & Ramírez, R. O. (2010). Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3), 287-296.
- Meuriot, F., Decau, M. L., Morvan-Bertrand, A., Prud'Homme, M. P., Gastal, F., Simon, J. C., Volenec, J. J., & Avice, J. C. (2005). Contribution of initial C and N reserves in *Medicago sativa* recovering from defoliation: impact of cutting height and residual leaf area. *Functional Plant Biol.* 32:321-334.
- Morales, A. R. A. (2019). Diseño y cálculo de una máquina peletizadora para la producción de alimento animal. Universidad Tecnológica de Pereira. Risaralda, Colombia. Pp.13
- Montes, C. F. J., Castro, R. R., Aguilar, B. G., Sandoval, T. S., & Solís, O. M. M. (2016). Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(4), 539-552.
- Montoya, B. E. (2011). Variación en el contenido de nutrientes en Alfalfa (*Medicago sativa*) cosechada a diferente edad de rebrote y época del año (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma De Baja California).

- Major, D. J., Hanna, M. R. & Beasley, B. W. (1991). Photoperiod response characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Can. J. Plant Sci.* (71):87-93.
- National Research Council. (2005). *Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition*, 2005. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11309>
- Niwinska, B., Strzetelski, J. A., Kowalczyk, J., Borowiec, F., & Domanski, P. (2005). The effect of phenological stage and season on nutritive value, chemical composition and nutrient digestibility of lucerne (*Medicago sativa* L.) green forage in the alimentary tract of cattle. *Czech Journal of Animal Science*, 50(11), 511.
- Pedroza, M. I. S., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. J. A. S., & Ramírez, R. O. (2010). Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3), 287-296.
- Pérez, B. M. T.; Hernández, G. A.; Pérez, P. J.; Herrera, H. J. G. & Barcena, G. R. (2002). Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Téc. Pec. Méx.* 40(3):251-263.
- Popovic, S., Grljusic, S., Cupic, T., Tucak, M., & Stjepanovic, M. (2001). Protein and fiber contents in alfalfa leaves and stems. *Options Méditerranéennes Série A Séminaires Méditerranéens*, 45, 215-218.
- Quiroga, G. H. M. (2013). Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(4), 503-516.
- Radovic, J., Sokolovic, D., Markovic, J. (2009). Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotech. Anim. Husbandry*. 25, 465–475.
- Ramírez, O., R. (2003). Dinámica estacional del valor nutritivo y digestión ruminal del forraje de 10 arbustivas de Baja California Sur, México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Ramírez, S. A. A. (2010). Cinética ruminal de un ensilado orgánico, ofrecido en la alimentación de becerros (No. Tesis-Laguna SF205. R35 2010).
- Rivas, J. M. A., López, C. C., Hernández, G. A., & Pérez, P. J. (2005). Efecto de tres regimenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 43(1), 79-92.
- Robinson, P. H., Putnam, D. H., & DePeters, E. J. (2007). Fundamentals of alfalfa quality. Accessed on-line on August, 9(2013), 07-80.
- Rogers, M. E., Lawson, A. R., Chandra, S., & Kelly, K. B. (2014). Limited application of irrigation water does not affect the nutritive characteristics of lucerne. *Animal Production Science*, 54(10), 1635-1640.
- Rojas, G. A. R., Hernández, G. A., Joaquín, C. S., Maldonado, P. M. A., Mendoza, P. S. I. Álvarez, V. P. & Joaquín, T. B. M. (2016). Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(8):1855-1866.
- Rojas, G. A. R., Mendoza, P. S. I., Maldonado, P. M. D. L. Á., Álvarez, V. P., Torres, S. N., Cruz, H. A., & Joaquín C. S. (2019). Rendimiento de forraje y valor nutritivo de alfalfa a diferentes intervalos de corte. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 849-858.

- Rojas, G. A. R.; Torres, S. N.; Joaquín, C. S.; Hernández-Garay, A.; Maldonado.; P. M. A. & Sánchez, S. P. (2017). Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*. 51(7):697-708.
- Rubio, L. A., & Molina, E. (2016). Las leguminosas en alimentación animal. *Arbor*, 192(779), 315.
- Russelle, M. P. (2001). Alfalfa: After an 8,000-year journey, the "Queen of Forages" stands poised to enjoy renewed popularity. *American Scientist*, 89(3), 252-261.
- SADER (2020). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultada en: <https://www.agricultura.gob.mx/que-hacemos>
- Sanchez, D. H., Schwabe, F., Erban, A., Udvardi, M. K., & Kopka, J. (2012). Comparative metabolomics of drought acclimation in model and forage legumes. *Plant, Cell & Environment*, 35(1), 136-149.
- Sánchez, I., Zapata, N., & Faci, J.M. (2010). Combined effect of technical, meteorological and agronomical factors on solid-set sprinkler irrigation: I. Irrigation performance and soil water recharge in alfalfa and maize. *Agric. Water Manage.* 97, 1571–1581.
- SENASICA (2020). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Consultado en: <https://www.gob.mx/senasica/que-hacemos>
- Sharratt, B. S., Baker, D. G., & Sheaffer, C. C. (1987). Climatic effect on alfalfa dry matter production Part II. Summer harvests. *Agricultural and forest meteorology*, 39(2-3), 121-129.
- SIAP (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- SIAP (2018). Alfalfa verde, producción y comercio exterior. <https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-y-comercio-exterior>
- Singer, S. D., Hannoufa, A., & Acharya, S. (2018). Molecular improvement of alfalfa for enhanced productivity and adaptability in a changing environment. *Plant, cell & environment*, 41(9), 1955-1971.
- Tapia C. J., Molina, A. L., Vega G. P., Mendoza, M. R., Guido, S. M. (2016). Enfermedades Asociadas al Cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa*) Asc. José Luis Bustamante Y Rivero, Distrito De Cerro Colorado, Arequipa, En Los Meses De Mayo-Julio 2015. 10.13140/RG.2.1.4050.2006.
- Teixeira, E.I., Moot, D.J., & Brown, H.E., (2008). Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *Eur. J. Agron.* 28, 103–111.
- Teixeira, E. I., Brown, H. E., Meenken, E. D., & Moot, D. J. (2011). Growth and phenological development patterns differ between seedling and regrowth lucerne crops (*Medicago sativa* L.). *European Journal of Agronomy*, 35(1), 47-55.
- Toral, I. M. (2008). Piensos inocuos: control de los riesgos asociados a las materias primas. *Ganadería*, (57), 58-64.

- Torres, R. J. J. (2017). Fitomejoramiento por cultivo de tejidos vegetales para incrementar la tolerancia a estrés por Ag en Medicago sativa.
- Undersander, D., & Cosgrove, D. (2011). Alfalfa management guide. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. 55-59.
- Van Eijkeren, J. C., Zeilmaker, M. J., Kan, C. A., Traag, W. A., & Hoogenboom, L. A. (2006). A toxicokinetic model for the carry-over of dioxins and PCBs from feed and soil to eggs. *Food additives and contaminants*, 23(5), 509–517.
- Vázquez, V. C., García, H. J. L., Salazar, S. E., Murillo, A. B., Orona, C. I., Zúñiga, T. R., & Preciado, R. P. (2010). Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (Medicago sativa L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(4), 363-372.
- Ventroni, L. M.; Volenec, J. J. & Cangiano, C. A. (2010). Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components. *Field Crops Res.* 119:252-259.
- Villegas, A. Y., Hernández, G. A., Pérez, P. J., López, C. C., Herrera, H. J. G., Enríquez, Q. J. F., & Gómez, V. A. (2004). Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (Medicago sativa L.). *Téc Pecu Méx*, 42(2), 145-158.
- Van Eijkeren, J. C., Zeilmaker, M. J., Kan, C. A., Traag, W. A., & Hoogenboom, L. A. P. (2006). A toxicokinetic model for the carry-over of dioxins and PCBs from feed and soil to eggs. *Food additives and contaminants*, 23(05), 509-517.
- Vivas, A. W. F., Vera, A. D. V., & Alpizar, M. J. (2017). Determinación in vitro de la calidad nutricional de tres leguminosas forrajeras. *La Técnica*, (17), 43-52.
- Xiong, X. W., Zhou, P. F., & Ding, J. H. (2016). Effect of alfalfa meal and alfalfa flavonoids excrement on growth performance and nutrient utilization of Chongren chicken female. *Jiangxi J Anim Husb Vet Med* 2012; 3:30-3.
- Zhu, J. M., Li, N., & Zhang, Y. J. (2009). Advances in alfalfa flavonoids. *Acta Pratacult Sin*, 26(9), 156-162.