



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE SOYA EN LA
DIETA DE VACAS EN PASTOREO SOBRE SU
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
FERMENTACIÓN RUMINAL IN VITRO**

Para obtener el título de

Médica Veterinaria Zootecnista

PRESENTA

Aislinn Martínez Ugalde

Director

Dr. Rodolfo Vieyra Alberto

Codirector

Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez

Comité tutorial

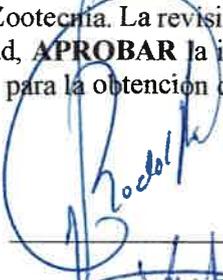
Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández
Dr. Jesús Armando Salinas Martínez
Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, noviembre de 2023



DR. ARMANDO PELÁEZ ACERO
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PRESENTE

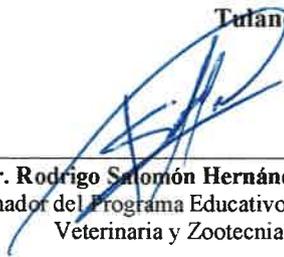
Por medio de la presente, me dirijo a usted para informarle que, de acuerdo al artículo 40 del Reglamento de Titulación de nuestra máxima casa de estudios, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la tesis titulada “EFECTO DE LA ADICIÓN DE SOYA EN LA DIETA DE VACAS EN PASTOREO SOBRE SU COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y FERMENTACIÓN RUMINAL *IN VITRO*”, será presentada por la alumna **Aislinn Martínez Ugalde**, con el número de cuenta **397529** del Programa Educativo de Medicina Veterinaria y Zootecnia. La revisión de dicha tesis efectuada por el comité examinador ha declarado por unanimidad, **APROBAR** la impresión y defensa de la misma en el examen recepcional, como requisito parcial para la obtención del título de Médica Veterinaria Zootecnista.

PRESIDENTE	Dr. Rodolfo Vieyra Alberto	
SECRETARIO	Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez	
VOCAL	Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández	
VOCAL	Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez	
VOCAL	Dr. Jesús Armando Salinas Martínez	
SIDONAL SUPLEMENTE	Dr. Isaac Almaráz Buendía	

Sin más por el momento y agradeciendo su atención me despido de usted

A T E N T A M E N T E

“Amor, Orden y Progreso”
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 28 junio de 2023

		
Dr. Rodrigo Salomón Hernández Aco Coordinador del Programa Educativo de Medicina Veterinaria y Zootecnia		Dr. Vicente Vega Sánchez Jefe de Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa,
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México: C.P. 43600
Teléfono +52 (771) 71 72000 ext 2451
rodolfo_vieyra@uaeh.edu.mx



DEDICATORIAS

La presente tesis la dedico con especial afecto a **mi familia**. Principalmente a mis padres por su amor, trabajo, sacrificio y porque siempre se han preocupado por mi desde que llegué a este mundo y me han apoyado en todo momento, vigilando mi crecimiento tanto personal como profesional, brindándome las armas necesarias para poder lograr todo lo que me proponga y siempre salir adelante ante cualquier adversidad que la vida me ponga.

A mis hermanos Emma y Tobias quienes han hecho mi vida más plena y feliz con su compañía, por darme ánimos de seguir adelante y no rendirme para lograr mi más grande sueño.

A mi abuelita Emma y mi tío Arturo por siempre cuidar de mí como si fuera una hija, por darme tanto amor, estar al pendiente de mí, apoyarme económicamente y darme consejos para salir siempre adelante.

A mis amigos Belinda, Cesar, Yareli, Luis Enrique y Alexandra quienes hicieron de estos cinco años la carrera un poco más fácil, pasando gratos momentos en clases, prácticas de campo y de laboratorio, estar conmigo en problemas personales, apoyarme y siempre confiar en mí.

A todas las personas que estuvieron conmigo mientras me formaba como Médica Veterinaria Zootecnista e hicieron mi vida más feliz, me apoyaron cuando los necesité, me abrieron sus puertas y me compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias a través del Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente, donde tuve grandes experiencias, pasé los momentos más agradables y también los más duros, donde conocí a los profesores y compañeros que me enseñaron el valor y la importancia de la Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la cual siempre me sentiré orgullosa de llevar su nombre en alto.

Esta investigación fue financiada por la Secretaría de Educación Pública a través del proyecto PRODEP (511-6/18-8661) con registro interno de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: UAEH-PTC-803 y al proyecto autogenerado registrado en la misma Universidad con clave: UAEH-DI-ICAP-MVYZ-20-054. Ambos a cargo de Rodolfo Vieyra Alberto.

A la familia Godínez Manzur del “Rancho Canutillo” por la facilidad prestada a la presente investigación y al laboratorio multidisciplinario del ICAP-UAEH por el espacio para realizar el análisis químico de la leche.

A mi Director de tesis, el Dr. Rodolfo Vieyra Alberto, por cobijarme siempre bajo su instrucción, por confiar en mí y compartirme sus amplios conocimientos y experiencias, por su invaluable tiempo para prepararme profesionalmente, por darme consejos más allá del ámbito profesional sino también de la vida. Muchísimas gracias doctor por ser un gran ejemplo para mí y para todas las personas que tenemos el privilegio de conocerlo y haber compartido experiencias a su lado.

A mi Co-director y asesores de tesis Dr. Alfonso Longinos Muñoz Benítez, Dr. Juan Carlos Ángeles Hernández, Dr. Jesús Armando Salinas Martínez y Dr. Oscar Enrique Del Razo Rodríguez, gracias por la oportunidad y por el tiempo dedicado a leer y revisar este trabajo, por sus enseñanzas, ideas y conocimientos compartidos para poderlo concluir.

A todos y cada uno de los profesores de la carrera quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que día a día pudiera crecer profesionalmente, gracias a cada uno por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y su amistad.

A todas aquellas personas que de una u otra manera formaron parte de mi vida profesional y dejaron huella en mí.

“Siempre parece imposible hasta que se hace”

Nelson Mandela

CONTENIDO

DEDICATORIAS	II
AGRADECIMIENTOS	III
CONTENIDO	1
ÍNDICE DE CUADROS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
2.1. <i>Panorama general de la leche de vaca en el mundo y en México.....</i>	<i>9</i>
2.2. <i>El rumen de la vaca lechera</i>	<i>12</i>
2.3. <i>La glándula mamaria de la vaca lechera</i>	<i>14</i>
2.4. <i>El pastoreo como estrategia de producción de leche de vaca.....</i>	<i>19</i>
2.5. <i>Semilla de soya</i>	<i>20</i>
2.6. <i>Uso de oleaginosas en la dieta de vacas en producción.....</i>	<i>24</i>
III. JUSTIFICACIÓN	27
IV. HIPÓTESIS	28
V. OBJETIVOS.....	29

5.1. <i>Objetivo general</i>	29
5.2. <i>Objetivos específicos</i>	29
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	30
6.1. <i>Localización</i>	30
6.2. <i>Fase 1: experimento de campo con vacas en pastoreo</i>	30
6.3. <i>Fase 2: elaboración de las dietas en el laboratorio</i>	33
6.4. <i>Análisis estadístico</i>	35
VII. RESULTADOS	37
VIII. DISCUSIÓN	40
8.1. <i>Consumo de materia seca y eficiencia alimenticia</i>	40
8.2. <i>Producción de leche y composición química</i>	41
8.3. <i>Parámetros de fermentación ruminal y digestibilidad in vitro</i>	42
IX. CONCLUSIONES	44
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
XI. ANEXOS	52
11.1. <i>Resumen Publicado en el Congreso Latinoamericano de Producción Animal</i>	52

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Composición química del calostro y de la leche de acuerdo con el número de ordeños después del parto</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 2. Principales hormonas reguladoras de la lactación</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 3. Nomenclatura, clasificación y taxonomía de la soya.....</i>	<i>20</i>
<i>Cuadro 4. Composición química (kg ha⁻¹) en las diferentes partes de la planta de soya</i>	<i>22</i>
<i>Cuadro 5. Contenido de ácidos grasos en la semilla de soya</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 6. Composición nutrimental de los alimentos proporcionados a las vacas y de las dietas evaluadas in vitro (g kg⁻¹).....</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 7. Consumo de alimento, eficiencia alimenticia y producción de metano de vacas en pastoreo con la adición de grano tostado de soya en su alimentación...37</i>	
<i>Cuadro 8. Eficiencia productiva de vacas en pastoreo con la adición de grano tostado de soya en su alimentación.....</i>	<i>38</i>
<i>Cuadro 9. Parámetros de fermentación ruminal y digestibilidad in vitro de la dieta de vacas en producción en pastoreo con la adición de grano tostado de soya</i>	<i>39</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Principales países productores de leche de vaca en el 2017-2019 (Extraído de FIRA [2019], Fuente: USDA)</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. Producción de leche de bovino en México, 2008-2019 (Extraído de FIRA [2019], Fuente: USDA).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Producción nacional de leche de bovino en México, 2018 (Modificado de FIRA [2019]).</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4. Consumo per cápita de leche en México, 2018 (Extraído de FIRA [2019], Fuente: OCDE-FAO).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5. Proceso de síntesis de la leche (Modificado de Wattiaux, 2005).....</i>	<i>15</i>

RESUMEN

La leche de vaca es un producto que aporta gran cantidad de componentes nutricionales al humano. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento productivo de vacas lecheras en pastoreo y parámetros de fermentación ruminal *in vitro* con la adición del 2% de grano de soya tostado molido en la dieta. Se utilizaron 6 vacas multíparas encastadas con Holstein y Pardo Suizo, con un peso de 543 ± 77 kg y una producción de leche de 12.3 ± 0.8 kg/vaca al día. Las vacas fueron asignadas al azar en un diseño de bloques completamente al azar con periodos de 21 días, 16 de adaptación y 5 días de medición. Los tratamientos fueron: 1) Testigo: 20 h de acceso a la pradera, 2 kg de forraje henificado en base húmeda (BH) y 2 kg de concentrado comercial en BH y, 2) Soya: igual al tratamiento testigo más la adición 200 g de semilla de soya tostada molida al día. Los datos obtenidos se analizaron con el modelo general lineal $Y_{ijk} = \mu + \text{Bloque}_i + T_x_j + \epsilon_{ijk}$ del programa estadístico SAS. Se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($P < 0.05$). No se observaron diferencias ($P > 0.05$) en ninguna de las variables estudiadas con relación a la ingesta de alimentos, tampoco en parámetros de fermentación ruminal, ni en la producción de leche, composición y rendimiento de grasa, proteína y lactosa con la adición de semilla de soya en la dieta de vacas en pastoreo. En conclusión, en donde las condiciones agroclimáticas y sociales lo permitan, adicionar 200 g de grano tostado y molido de soya en la dieta de vacas en pastoreo no afecta el rendimiento productivo ni de los componentes mayoritarios en la leche.

ABSTRACT

Cow's milk is a product that provides a large number of nutritional components to humans. The objective of this research was to evaluate the productive performance of grazing dairy cows and in vitro ruminal fermentation parameters with the addition of 2% ground roasted soybean grain in the diet. Six multiparous cows mated with Holsteins and Brown Swiss were used, with a weight of 543 ± 77 kg and a milk production of 12.3 ± 0.8 kg/cow per day. The cows were randomly assigned in a completely randomized block design with periods of 21 days, 16 of adaptation and 5 days of measurement. The treatments were: 1) Control: 20 h of access to the meadow, 2 kg of hayed forage on a wet basis (BH) and 2 kg of commercial concentrate in BH and, 2) Soybean: equal to the control treatment plus the addition of 200 g of roasted ground soybeans per day. The data obtained were analyzed with the general linear model $Y_{ijk} = \mu + \text{Block}_i + \text{Tx}_j + \epsilon_{ijk}$ of the statistical program SAS. Tukey's test was used for the comparison of means ($P < 0.05$). No differences ($P > 0.05$) were observed in any of the variables studied in relation to feed intake, neither in rumen fermentation parameters, nor in milk production, composition and yield of fat, protein and lactose with the addition of soybean in the diet of grazing cows. In conclusion, where agroclimatic and social conditions allow it, adding 200 g of toasted and ground soybean grain to the diet of grazing cows does not affect the productive performance or its major components in milk.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche tienen características propias conforme a cada región en la que se ubican, acorde a las condiciones agroecológicas, climatológicas, tecnológicas y socioeconómicas de los productores. En México se han identificado tres tipos de sistemas de producción de leche: el especializado, pequeña escala y doble propósito. El especializado se caracteriza por tener una gran cantidad de vacas en producción, las cuales se mantienen en completa estabulación y tienen un proceso mecanizado para su ordeño. Los otros dos sistemas se caracterizan por tener una menor cantidad de vacas, en su mayoría utilizan cruces de razas Holstein y Pardo Suizo, tienen una menor tecnificación y predomina la mano de obra familiar (Posadas et al., 2018, Hernández et al., 2013).

En comparación con las unidades de producción que mantienen a los animales en confinamiento total, la producción de leche basada en el pastoreo tiene ventajas económicas, sanitarias y bienestar animal. El pastoreo directo en la producción de leche se basa principalmente en la baja inversión relacionada con instalaciones y los bajos costos en la alimentación del hato, ya que los forrajes pueden contribuir a incrementar la eficiencia productiva pues constituyen la fuente más barata de nutrientes (Arriaga et al., 2000; Lemus et al., 2020).

La semilla de soya es cosmopolita, es una de las semillas más cultivadas y utilizadas a nivel mundial, caracterizada por ser una fuente de proteína de alta calidad para el ganado. Dicha semilla se considera como una oleaginosa debido a que tiene un contenido elevado de grasa (28%); además de tener una concentración alta de proteína (36%) y carbohidratos (16%) (Etiosa et al., 2018). Además, esta semilla, en sus distintas presentaciones (entera, extruida, quebrada, molida y cruda o tostada), se ha utilizado en la alimentación de las vacas. La presentación que ha sido mejor aprovechada por las vacas ha sido la extruida y quebrada cuando tuvo

un proceso previo de cocción [tostado] (Dhiman et al., 1997; Plata-Pérez et al., 2022).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) es una determinación ampliamente difundida con relación a la calidad de los alimentos y que presenta una correlación elevada con los resultados *in vivo*.

Los métodos más utilizados son el de Tilley y Terry (TT: 48 h digestión ruminal + 48h digestión con pepsina + HCl) y el de Goering y Van Soest (48h digestión ruminal + lavado con detergente neutro), ya sea con equipamiento tradicional o con el equipo Daisy (Torres et al., 2009).

Las estrategias de alimentación en vacas lecheras adquieren mayor relevancia cuando los costos de los insumos primarios se mantienen en aumento constante, comprometiendo la rentabilidad de las unidades de producción. En unidades de producción lechera el costo de la alimentación oscila entre el 50 a 60% del gasto total de producción. La inclusión de lípidos en la dieta de vacas lecheras en pastoreo es una práctica que se ha ido incrementando en la última década. La semilla de soya es una oleaginosa que contiene una elevada concentración de lípidos y proteína de alta calidad que podría constituir un suplemento adecuado para incluir en la dieta de vacas en pastoreo (Zetina, 2021).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento productivo de vacas lecheras en pastoreo y parámetros de fermentación ruminal *in vitro*, con la adición del 2% de grano de soya, tostado y molido, en la dieta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Panorama general de la leche de vaca en el mundo y en México

La producción mundial de leche fluida en el 2018 se ubicó en 605.8 millones de toneladas, de las cuales el 83.4% correspondió a leche de bovino. Entre 2008 y 2018 la producción mundial de leche de bovino creció a una tasa promedio anual de 1.4% y se ubicó en un máximo histórico de 505.2 millones de toneladas, siendo la Unión Europea la región más importante en la producción de leche de bovino, teniendo una participación del 30.5% del total de la producción mundial. Aproximadamente el 60% de la producción de leche en la Unión Europea se centra en Alemania, Francia, Reino Unido, Holanda y Polonia.

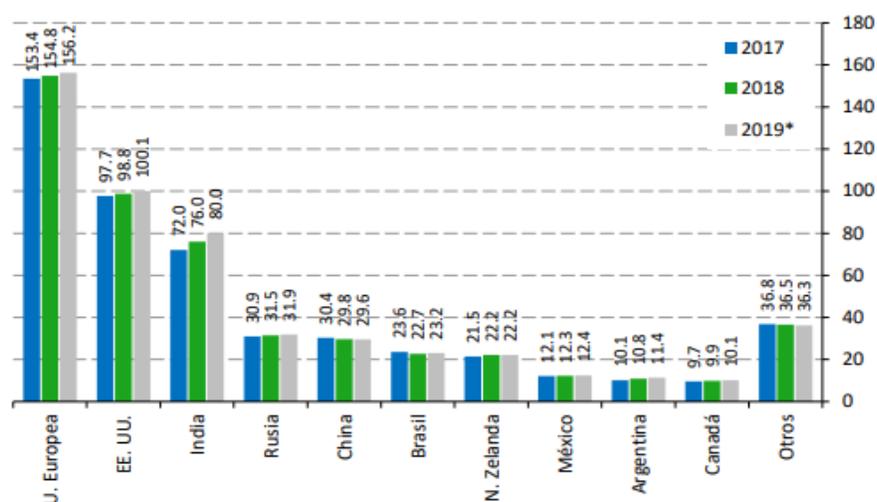


Figura 1. Principales países productores de leche de vaca en el 2017-2019 (Extraído de FIRA [2019], Fuente: USDA)

México ocupa la octava posición mundial en la producción de leche de bovino con una participación de 2.4% (Figura 1). La producción de leche de bovino en México creció a una tasa promedio anual de 1.3%, ubicándose en un máximo histórico de 12,008 millones de litros en el 2018 como se muestra en la Figura 2 (FIRA, 2019).

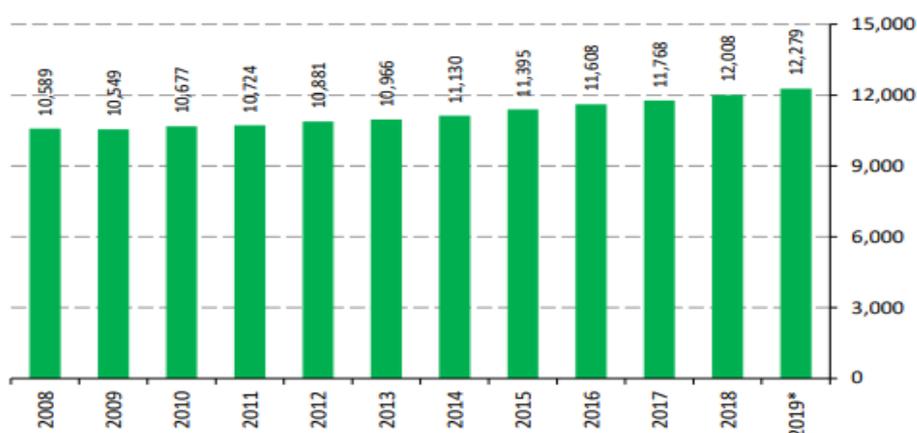


Figura 2. Producción de leche de bovino en México, 2008-2019 (Extraído de FIRA [2019], Fuente: USDA)

El 64.2% de la producción nacional fue aportado por Jalisco (20.3%), Coahuila (11.3%), Durango (10.2%), Chihuahua (9.4%), Guanajuato (7.1%) y Veracruz (6.0%) (Figura 3). Con lo anterior, se estimó que para el 2019 la producción de leche crecería en un 2.3% de acuerdo con el Fideicomiso Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA; 2019).

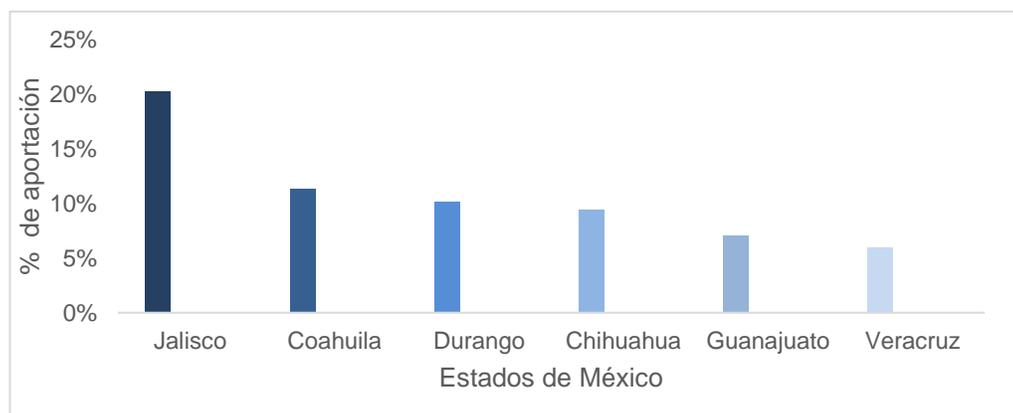


Figura 3. Producción nacional de leche de bovino en México, 2018 (Modificado de FIRA [2019]).

La producción de leche de bovino en México incrementa gradualmente, pero no ha sido suficiente para cubrir la demanda del mercado nacional, ya que el consumo en el país se ubicó en 15,288 millones de litros, de los cuales las importaciones representaron 21.5% (FIRA, 2019).

Según FIRA, la producción de leche en México se desarrolla bajo condiciones heterogéneas en términos de tamaño de las unidades de producción, tecnología utilizada, sistemas reproductivos, calidad de los forrajes y alimentación, así como por los sistemas de comercialización de la producción primaria. A través de esta forma de clasificación se puede considerar que existen cuatro sistemas de producción: especializado, semi-especializado, doble propósito y pequeña escala. Siendo considerado el sector lechero como la tercera actividad pecuaria de mayor importancia en la generación de valor (SADER, 2021).

El consumo *per cápita* anual de leche en México en el 2018 se estimó en 122 litros y a nivel mundial alrededor de los 134 litros (SADER, 2020).

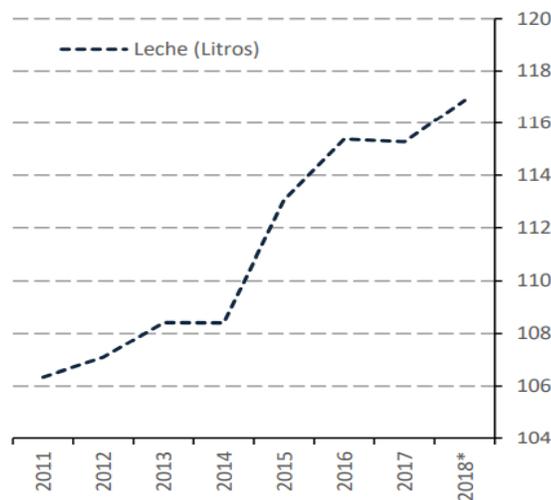


Figura 4. Consumo per cápita de leche en México, 2018 (Extraído de FIRA [2019], Fuente: OCDE-FAO)

La leche líquida es el producto que más se consume en el mundo, en México se ha observado un incremento del 1.3%. Entre 2009 y 2018, las importaciones de leche en polvo crecieron a una tasa promedio anual de 7.6%, para ubicarse en un máximo histórico de 362.8 miles de toneladas (SADER, 2020).

2.2. El rumen de la vaca lechera

El rumen es uno de los cuatro compartimentos que componen el estómago de los rumiantes (Dyce y Wensing, 2010), es aglandular (Vargas, 2010) y está desarrollado para digerir los carbohidratos estructurales que forman parte de la dieta común de los rumiantes. Es una cámara de fermentación que ocupa aproximadamente el 80% del total del estómago en vacas adultas (Dyce y Wensing, 2010). Este compartimento tiene la capacidad de contener de 100 a 150 litros en vacas adultas y, en conjunto con el retículo, de 110 a 135 litros, lo que equivale a un 84% de la capacidad total del estómago (Vargas, 2010).

El rumen está comprimido lateralmente y se extiende desde el cardias, que se encuentra un poco por encima de la mitad del séptimo espacio intercostal o la octava costilla, hasta la entrada pélvica, desde el techo abdominal hasta el piso, y desde la pared del cuerpo izquierdo, a través de la línea media, caudal y ventralmente, donde puede llegar al flanco inferior derecho (Dyce y Wensing, 2010). El rumen se encuentra recubierto por serosa en toda su superficie, menos dorsalmente ya que la pared ruminal se adhiere directamente al techo abdominal desde el hiato esofágico del diafragma hasta la cuarta vértebra lumbar (Dyce y Wensing, 2010). La cara parietal del rumen es convexa y está ubicada al lado izquierdo del plano medio y está en contacto con el diafragma, la pared abdominal izquierda, el piso del abdomen y el bazo. La cara visceral está ubicada a la derecha del plano medio y está en contacto con el hígado, el intestino, páncreas, riñón izquierdo, aorta abdominal, vena cava caudal y el útero. La curvatura dorsal se encuentra contra el diafragma y la musculatura del techo abdominal hasta la cuarta vértebra lumbar. La curvatura ventral sigue convexa junto con el piso abdominal. El extremo craneal es redondeado e incluye la continuidad del retículo-rumen y el extremo caudal que se encuentra en contacto con la vejiga, el intestino y el útero (Vargas, 2010).

El rumen almacena y fermenta el alimento que consume el animal, la fermentación microbiana reduce el tamaño de partícula ingerido (Dyce y Wensing, 2010). El rumen y el retículo se reconocen funcionalmente como una sola unidad, denominado como “complejo retículo-rumen” (Vargas, 2010).

La capa, o túnica serosa, representa el revestimiento peritoneal que recubre completamente al órgano, y corresponde a un epitelio simple con actividad secretora que protege y humecta la superficie del rumen para permitir el deslizamiento de las vísceras abdominales. La capa, o túnica muscular, tiene fibras longitudinales, circulares y oblicuas que permiten la motilidad gástrica característica de los rumiantes, y la capa mucosa que corresponde al revestimiento interno del rumen es caracterizada por la presencia de vellosidades que permiten establecer un contacto directo con el contenido ruminal ya sea alimento, flora microbiana o los productos del metabolismo ruminal. Esta mucosa es aglandular ya que no es capaz de producir secreciones para incorporar con el contenido, pero sí manifiesta una alta capacidad de absorción que permite captar productos del metabolismo e incorporarlos al torrente sanguíneo. En aquellas zonas donde externamente se posicionan los surcos ruminales (dos surcos longitudinales y dos transversos), en el interior se encuentran los pilares ruminales que son pliegues o engrosamientos de la pared por acúmulo de fibras musculares lisas, desprovistos de vellosidades, pero con una alta actividad contráctil que facilita la motilidad gástrica. Los cuatro surcos delimitan la formación de un saco dorsal y un saco ventral que en general alojan vasos sanguíneos, linfáticos, linfonodos, nervios y grasa que recorre el sistema digestivo (Vargas, 2010).

El complejo retículo-rumen en la vaca lechera involucra procesos de tipo físico, químicos y biológicos, ya que al interior de este se encuentra bacterias y protozoos que, en conjunto con los procesos de almacenamiento, fermentación, regurgitación,

remasticación e insalivación, facilitan el proceso de la digestión para que el alimento continúe hacia el omaso y abomaso (Vargas, 2010).

2.3. La glándula mamaria de la vaca lechera

La glándula mamaria es una glándula apocrina altamente especializada de origen dérmico, su forma es sacular y aplanada transversalmente, su base es ligeramente cóncava y se inclina oblicuamente hacia abajo y adelante, cuya secreción tiene como objetivo principal la alimentación de las crías (Sisson y Grossman, 1982). La ubre en su conjunto tiene la propiedad de convertir los nutrientes que transporta la sangre en leche, se requiere el flujo de 400 a 500 litros de sangre para lograr producir 1 litro de leche (Elizondo, 2010). Además, la sangre lleva las hormonas naturalmente sintetizadas por la vaca que controlan el desarrollo de la ubre, la síntesis de leche, y la regeneración de células secretoras entre lactancias (Franklin, 2011).

La ubre bovina se divide en dos secciones internas (derecha e izquierda) las cuales se encuentran separadas por el ligamento suspensorio medio cuya función es el soporte primario de la ubre. Las secciones mencionadas se dividen por una fina membrana en cuartos delanteros y traseros. Cada cuarto es una glándula independiente de los otros tres, los cuartos traseros están conformados entre 25-50% por más tejido secretor, lo que indica que producen alrededor del 60% del total de leche al día (Elizondo, 2010).

La Figura 5 muestra un esquema de los principales componentes de la leche: grasa, proteína y lactosa.

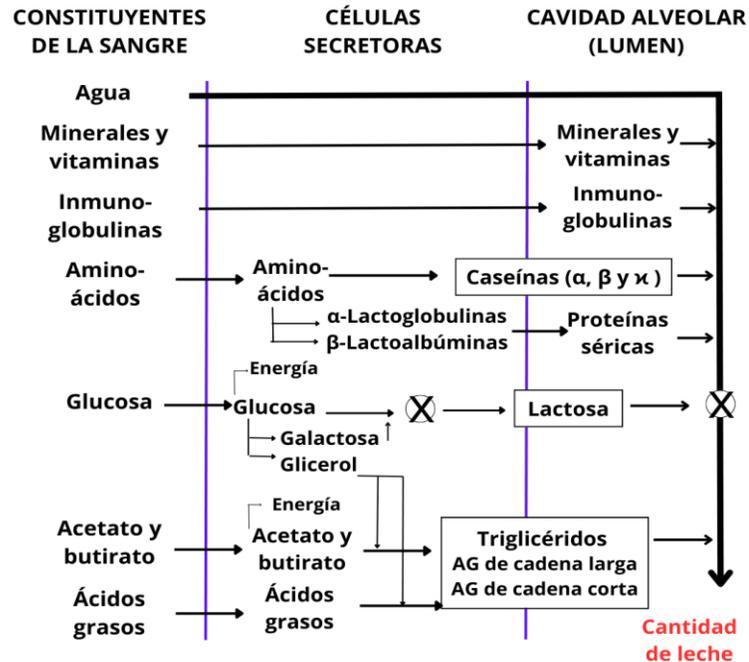


Figura 5. Proceso de síntesis de la leche (Modificado de Wattiaux, 2005).

Síntesis de proteínas. Las proteínas de la leche proceden del plasma sanguíneo (albúmina del suero de la leche, IgG e IgM) y son sintetizadas por las células glandulares de la ubre (caseínas, α -lactoalbúminas y β -lactoalbúminas) o por las células plasmáticas de la ubre (IgA). Su síntesis en la ubre se basa en la expresión de genes estimulados por las hormonas secretadas durante la gestación que provocan la diferenciación de las células glandulares. La transducción del ARN mensajero se lleva a cabo en los ribosomas del retículo endoplasmático rugoso, por lo que es necesario que la vaca disponga de los aminoácidos esenciales y no esenciales. Una vez formadas las proteínas, en el aparato de Golgi sufren modificaciones que son la glucosilación y fosforilación, en el cual a las caseínas se les transfiere un grupo fosfato del Adenosín Trifosfato (ATP) a restos de serina y treonina. Después, las proteínas se envuelven en vesículas secretoras donde se asocian a micelas que, además de proteínas, contienen calcio, magnesio, fósforo y citrato (Engelhardt y Breves, 2005).

Síntesis de lactosa. El azúcar de la leche, la lactosa, es un disacárido constituido por glucosa y galactosa, unidas por la enzima sintetasa, la cual se sintetiza en el aparato de Golgi de los galactocitos a partir de la glucosa proveniente del torrente sanguíneo que se forma en el hígado a partir de los ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente propionato y, en menor proporción, de algunos aminoácidos por la vía de la gluconeogénesis. Una vez que la glucosa entra a los galactocitos de la ubre es utilizada para cuatro fines: 1) producción de lactosa (60-70%), 2) producción de energía para sintetizar enzimas necesarias para la formación de la lactosa, 3) transformación en glicerofosfato como precursor en la formación de grasa y, 4) síntesis de enzimas para la formación de grasa (Cerón y Correa, 2002).

Síntesis de grasa. La grasa de la leche se forma a partir de ácidos grasos (AG) sintetizados *de novo* en los galactocitos. Los principales precursores de la grasa de la leche son el acetato, que proviene de la fermentación ruminal, y AG preformados que llegan al torrente sanguíneo provenientes de las lipoproteínas o de la grasa movilizada del tejido adiposo. Los AG representan el 90% de la grasa total en leche, por su parte, los AG de cadena larga son absorbidos de la sangre donde su origen es principalmente de los componentes de la dieta, mientras que los AG de cadena corta son sintetizados en la glándula mamaria. Los AG insaturados (forrajes verdes o aceites vegetales) que se encuentran en el rumen se saturan de hidrógenos antes de que entren al torrente sanguíneo para circular como lipoproteínas. Estas lipoproteínas son transportadas a las células mamarias en donde son divididos por la enzima lipasa lipoproteica en dos subunidades: glicerol y ácidos grasos (Angulo et al., 2009).

La fermentación del rumen es esencial para asegurar la producción de AGV. Los AGV acético y butírico son utilizados para sintetizar ácidos grasos de cadena corta. El acético aporta del 17 al 45% de la grasa de la leche y el butírico del 8 al 25%.

Algunos subproductos del ácido acético y butírico como son los cuerpos cetónicos pueden ser utilizados para la síntesis de grasa de la leche (Angulo et al., 2009).

Minerales. Los minerales de la leche son obtenidos por los galactocitos directamente del torrente sanguíneo y transportados a través de las células mamarias hasta el lumen alveolar donde son excretados con los demás componentes de la leche. Los minerales pasan de la sangre a la leche mediante sistemas de transporte activo (Cerón y Correa, 2002).

El Cuadro 1 muestra el contenido de algunos componentes de la leche desde el parto hasta la décimo primera semana de lactación. Se observa la disminución paulatina de sólidos totales producto del incremento del rendimiento lechero (kg/día) y la dilución de grasa y proteína, principalmente.

Cuadro 1. Composición química del calostro y de la leche de acuerdo con el número de ordeños después del parto

Composición / No. ordeño	Calostro		Leche de transición			Leche
	1	2	3	4	5	11
Sólidos totales (%)	23.90	17.90	14.10	13.90	13.60	12.50
Grasa (%)	6.70	5.40	3.90	3.70	3.50	3.20
Proteínas (%)	14.00	8.40	5.10	4.20	4.10	3.20
Anticuerpos (%)	6.00	4.20	2.40	0.20	0.10	0.09
Lactosa (%)	2.70	3.90	4.40	4.60	4.70	4.90
Minerales (%)	1.11	0.95	0.87	0.82	0.81	0.74
Vitamina A (ug/dl)	295		113		74	34

Modificado de Angulo y Olivera (2017)

La galactopoyesis se define como el mantenimiento de la lactancia, una vez que esta es establecida, la glándula mamaria lleva a cabo una serie de pasos y funciones que permiten dicha acción, iniciando con la producción de leche de transición entre las primeras 24 a 72 horas postparto. El mantenimiento de la lactancia se ve influida por una serie factores endocrinos, autocrinos y metabólicos; la remoción de la leche de la glándula mamaria es el factor principal que mantiene la producción láctea en vacas lecheras (Angulo y Olivera, 2017).

Las principales hormonas que regulan una lactación ya establecida son la prolactina, hormona del crecimiento, lactógeno placentario, glucocorticoides, hormonas tiroideas, esteroides ováricos, insulina y oxitocina. La función de estas hormonas se describe en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales hormonas reguladoras de la lactación

Hormona	Función
Insulina	Partición de nutrientes hacia la glándula mamaria.
Hormona del crecimiento	Aumenta la producción de leche elevando el consumo de materia seca lo que potencializa el consumo de energía para la lactancia sin producir deterioro corporal ni de la composición de la leche.
Prolactina	Efecto positivo en la persistencia de la lactación y mantenimiento del pico de producción.
Oxitocina	Produce la contracción de las células mioepiteliales forzando el descenso de la leche.
Hormonas tiroideas	Esenciales para la producción máxima de leche.

Modificado de Angulo y Olivera (2017)

2.4. El pastoreo como estrategia de producción de leche de vaca

En el pastoreo, los forrajes contribuyen a la eficiencia productiva de las unidades de producción de ganado bovino lechero, puesto que constituyen la fuente más barata de nutrientes (Arriaga et al., 2000). El punto óptimo de pastoreo depende en gran medida de la especie y tipo de forraje en cuestión. Considerar que un forraje joven tendrá mayor biodisponibilidad de nutrimentos, mientras que un forraje senil incrementará el contenido de fibra y lignina, teniendo como consecuencia la disminución de su aprovechamiento por las vacas (Bernal, 1994).

Debido a la importancia de la calidad de los forrajes en la alimentación del ganado lechero y la contribución que se puede obtener de ellos en la producción de leche, una forma adecuada de proveer estos forrajes al ganado (principalmente en climas templados) es el pastoreo de praderas cultivadas con gramíneas y/o leguminosas ya que éstas pueden ser cultivadas en suelos de baja calidad y proveer forrajes de excelente calidad con una alta palatabilidad; sumado a ello, el pastoreo directo es una de las formas más económicas de brindar forraje al ganado. El forraje de praderas con buena calidad es capaz de mantener por sí solo rendimientos productivos de leche superiores a los 25 kg/vaca al día. De esta manera, el pastoreo directo es considerado como una de las mejores alternativas tecnológicas para reducir los costos de alimentación y mantener una producción de leche eficiente, además de hacerla más sostenible (Arriaga et al., 2000). Las ventajas del pastoreo directo en la producción de leche se basan principalmente en una menor inversión de instalaciones y los bajos costos en la operación de alimentación del hato. El principal punto de ahorro se ve reflejado en la alimentación de los animales, ya que cosechan su propio alimento ahorrando a la producción la mano de obra para esta actividad (Posadas et al., 2018), de igual forma, las deyecciones regresan a las praderas directamente sirviendo como abono natural y evitando pagar mano de obra para el manejo de grandes cantidades de estiércol. Siendo así, los sistemas de

producción de leche basados en el pastoreo son característicos por su flexibilidad y costos menores, repercutiendo directamente en una alta productividad por unidad de superficie (Arriaga et al., 2000).

Otro punto importante tomado como ventaja del pastoreo directo, es que éste contribuye a la conservación de la fertilidad del suelo ya que reintegran los nutrientes contenidos en las heces del ganado, lo que mejora la cubierta del suelo y proporciona una cubierta vegetal evitando la futura erosión del suelo, lo que es directamente proporcional al aumento de la sostenibilidad ecológica de los sistemas de producción (Arriaga et al., 2000).

2.5. Semilla de soya

2.5.1 Nomenclatura y taxonomía

En el Cuadro 3 se muestra la clasificación de la soya de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, organismo encargado de promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica.

Cuadro 3. Nomenclatura, clasificación y taxonomía de la soya

Nombre vulgar	Soya
Tipo de cultivo	Oleaginosos
Nombre científico	<i>Glycine max</i>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae

Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Phaseoleae
Subtribu	Glycininae
Género	<i>Glycine</i>
Especie	<i>Glycine max</i>

Modificado de CONABIO (revisado en 20 de febrero de 2023)

2.5.2 Origen e historia

Esta semilla es nativa del Este del continente asiático, con datos registrados del centro y norte de China en el año 3000 a.C., los pobladores de esta región la consideraron como una de las cinco “semillas sagradas” (Torres-Torres y Tovar-Palacio, 2009).

La soya fue introducida de Asia a los Estados Unidos al principio del siglo XIX para ser usada como forraje, pero fue hasta 1941 que el área sembrada para la producción de grano de soya excedió la destinada para la producción del forraje (Tobia y Villalobos, 2004). A partir de 1989 el Centro de Investigación en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica, inició un programa de mejoramiento genético de esta leguminosa, lo que permitió la producción de diferentes variedades con un elevado potencial productivo (Tobia y Villalobos, 2004). Actualmente, Estados Unidos es considerado como el productor principal de soya, seguido de Brasil, Argentina y la India.

En el 2002, en México se cultivaron 76 mil hectáreas en el ciclo primavera-verano distribuidas en los estados de: Tamaulipas (61%), Chiapas (15%), Sinaloa (10%),

San Luis Potosí (8%) y Veracruz (4%). El 97% de la proteína de soya es destinado para el consumo de los animales y el otro 3% para consumo humano (de Luna, 2007).

2.5.3 Composición química de la soya.

La soya se considera como oleaginosa debido a que tiene un alto contenido de proteína (40%), grasa (20%), carbohidratos (25%), agua (10%) y cenizas (5%); el grano de soya tiene minerales, vitaminas, inhibidores de proteasas y compuestos fenólicos incluyendo isoflavonas, saponinas, fitatos, entre otros (de Luna, 2007).

Cuadro 4. Composición química (kg ha⁻¹) en las diferentes partes de la planta de soya

Parte de la planta	MS	PC	EE	CZ	FDN	CNF
Hojas	1171.2 (24.4±1.5)	294 (25.1±3.3)	62.1 (5.3±0.5)	87.8 (7.5±0.3)	310.4 (26.5±2.4)	416.9 (35.6±2.5)
Tallos y peciolas	1876.8 (39.1±2.9)	148.4 (9.2±1.4)	22.5 (1.2±0.3)	80.7 (4.3±0.9)	1032 (64±1.6)	341.9 (21.2±3.6)
Vainas y semillas	1752 (36.5±3.9)	438 (29.1±1.1)	204.7 (13.6±2)	79.8 (5.3±0.4)	439.5 (29.2±2.2)	341.8 (22.7±1.1)
Planta entera	4800 (26.7±2.2)	880.4 (20.2±2.2)	289.3 (6.7±1.4)	248.3 (5.5±0.6)	1781.9 (42.2±1.8)	1100.6 (25.4±2.3)

Densidad de siembra 192,000 plantas/ha (distancia entre surcos 0.80 m). Valores entre paréntesis significa = Valor promedio en porcentaje ± desviación estándar. MS = Materia Seca. PC =Proteína Cruda. EE = Extracto Etéreo. CZ = Cenizas. FDN = Fibra Detergente Neutro corregida por cenizas y por proteína cruda. CNF = Carbohidratos no fibrosos. Modificado de Tobia y Villalobos (2004).

La partición de la materia seca total en hojas, tallos+peciolas y vainas+semillas varía según el cultivo, la edad de la planta y el sistema de siembra empleado. En el Cuadro 4 se muestra la distribución de los componentes nutricionales de la planta de soya y de sus partes. El 52.2 y 73.8 % de la proteína y del extracto etéreo,

respectivamente, provienen de las vainas y de las semillas, en los tallos se concentra el 60% de la fibra detergente neutro (FDN). Aunque los tallos y pecíolos presentan un contenido de proteína relativamente bajo, si se compara con las otras partes de la planta, estos aún conservan un porcentaje de proteína superior al 7 % (Tobia y Villalobos, 2004).

Los lípidos de la soya se encuentran depositados en los esferosomas, los cuales pueden ser identificados por microscopía electrónica. El contenido total de lípidos está en un rango de 18 a 23% (de Luna, 2007) y la mayor parte son ácidos grasos poliinsaturados, destacando la presencia de los ácidos linoleico y linolénico (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido de ácidos grasos en la semilla de soya

Ácido graso	Abreviación	g/100 g AG
Mirístico	14:0	0.2
Palmitico	16:0	10.7
Palmitoleico	16:1	0.3
Esteárico	18:0	3.9
Oleico	18:1	22.8
Linoleico	18:2	50.8
Linolénico	18:3	6.8
Araquidónico	20:0	0.2

Modificado de Palmquist (1988).

2.6. Uso de oleaginosas en la dieta de vacas en producción

Las semillas de oleaginosas son aquellas de las que se pueden extraer aceites ya sea para uso industrial o comestible; generalmente, el residuo o desecho (pastas o tortas) se utiliza como ingrediente en la elaboración de dietas para la alimentación del ganado (SAGARPA, 2017). La inclusión de 12.4% de linaza cruda en la dieta de vacas Holstein tuvo un efecto positivo en la grasa de la leche (4.3 g kg^{-1}) (Martin et al., 2008). Souza et al. (2018) incluyó 8.6% de semilla de algodón en la dieta de vacas Holstein y observó un aumento del 15% en el contenido de grasa en leche y un 46.7% en su rendimiento si se compara con el uso de cascarilla de soya (8.6%).

2.6.1. Efecto del grano de soya sobre el comportamiento productivo de vacas

Se ha utilizado la semilla de soya en la alimentación de vacas en diferentes presentaciones como lo son: entera, extruida, quebrada, molida y cruda o tostada. La presentación que mejor es aprovechada por los rumiantes ha sido la extruida y quebrada cuando previamente tuvo un proceso de cocción (Dhiman et al., 1997).

En vacas en pastoreo del trópico seco de México, encastadas con Holstein y Pardo Suizo, no se modificó la producción de leche ni de sus componentes (grasa, proteína y lactosa) con la inclusión diaria de 380 g de soya tostada en su dieta. La única variable distinta entre tratamientos fue el consumo de materia seca en función del peso corporal, variando de 2.52 % para el grupo testigo y 2.82 % para el grupo que se alimentó con soya (Vieyra-Alberto et al., 2022).

La inclusión de 10 % de semilla extruida de soya en la dieta de vacas Holstein en estabulación no mostró efecto en la producción de leche ni en el contenido ni rendimiento de proteína, lactosa y sólidos no grasos; sin embargo, se observó una disminución de 13 % del contenido de grasa (de 4.06 a 3.53 %) (Chen et al., 2008).

Otro estudio mostró el efecto de la inclusión de 11.9% de grano de soya extruido en la dieta de las vacas lecheras, con lo cual se tuvo un aumento en la producción de leche del 26.8%; sin embargo, el contenido de grasa y proteína disminuyeron (-11.9 y -8.3 %, respectivamente). A pesar de la disminución en estos componentes, los rendimientos (kg d^{-1}) de grasa se mantuvieron e incluso el de proteína en la leche incrementó (Dhiman et al., 1999).

Gandra et al. (2016) incluyeron 16% de grano de soya cruda en vacas al inicio de la lactación, no hubo diferencia en la producción de leche (31.8 kg d^{-1}) pero sí aumentó el contenido y rendimiento de grasa láctea en un 9.3 y 4.6 %, respectivamente.

Por otro lado, Gao et al. (2009) incluyeron 7.5% de soya tostada molida en la dieta de vacas Holstein en estabulación y no observaron efecto en el rendimiento de leche ni de sus componentes mayoritarios (grasa, proteína y lactosa).

Lee et al. (2009) incluyeron 7.5 y 15% de grano de soya extruida a la dieta de las vacas lecheras raza Holstein, observando que el consumo de materia seca fue similar entre los tratamientos. La producción de leche con la inclusión del 7.5% de soya disminuyó un 4.6%, mientras que la grasa y proteína aumentaron (0.7 y 3.5% respectivamente) en comparación con el grupo testigo, por otro lado, la inclusión del 15% de soya aumentó un 2.5% la producción de leche y la grasa láctea disminuye un 2.8% mientras que el contenido de proteína aumenta en un 0.3%.

En un ensayo realizado por Liu et al. (2008), donde incluyeron el 7.5 % de soya tostada en la dieta de las vacas lecheras raza Holstein, se obtuvo una producción constante en ambos tratamientos, así como en la grasa, proteína y lactosa; sin embargo, disminuye en un 5.9% el rendimiento de grasa láctea y 6.1% de proteína.

La inclusión del 10.7% de grano de soya extruida en una dieta basada en la mezcla 50:50 de forraje y concentrado en base seca a vacas raza Holstein en estabulación,

aumenta la producción de leche de 25.4 a 26.5 kg d⁻¹ pero disminuye el contenido de grasa láctea (-11.1%) (Ye et al., 2009).

III. JUSTIFICACIÓN

Las estrategias de alimentación utilizadas en vacas en producción para modificar el rendimiento lechero y la composición química (principalmente grasa) incluyen el pastoreo, la inclusión de lípidos protegidos en la dieta, la inclusión de semillas de oleaginosas, las cuales dependen del tiempo y nivel de inclusión para observar cambios en la leche.

El forraje que pastan las vacas como ingrediente mayoritario incrementa la concentración de sólidos totales; sin embargo, el nivel de ingesta limitado y la tasa de pasaje lenta del alimento en el rumen afecta el rendimiento lechero.

La inclusión de lípidos como fuentes energéticas en vacas en producción que están en un sistema de pastoreo puede ser viable para incrementar el rendimiento lechero sin afectar el contenido de grasa, proteína y lactosa. Sin embargo, el manejo dificultoso de este ingrediente en la inclusión en las dietas orilla a buscar alternativas de alimentos con altos contenidos de aceites, tal es el caso de las semillas de oleaginosas.

El grano de soya contiene alrededor del 40% de proteína cruda y un 18% de grasa por tanto es una buena fuente de proteína y energía para la ración de vacas lecheras, con lo anterior se pretende que sea una opción viable y de menor costo en la alimentación de las vacas.

IV. HIPÓTESIS

La adición del 2% de grano de soya tostado molido en la dieta de las vacas con 20 horas en pastoreo mantendrá la producción de leche al día y no afectará el contenido de grasa, proteína y lactosa en la leche y, tampoco modificará los parámetros de fermentación ruminal *in vitro*.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento productivo de vacas lecheras en pastoreo y parámetros de fermentación ruminal *in vitro* con la adición del 2% de grano de soya tostado molido en la dieta.

5.2. Objetivos específicos

1. Conocer el rendimiento lechero y el contenido de grasa, proteína y lactosa con la adición de 2% de soya tostada molida en la dieta de vacas lecheras.
2. Determinar los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* con la adición de 2% de soya tostada molida en la dieta de vacas lecheras.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio realizado comprendió dos fases: 1) experimento de campo con vacas en pastoreo para evaluar su rendimiento productivo. Los animales utilizados en esta fase fueron manejados de acuerdo con las normas de salud y bienestar animal de acuerdo a la norma oficial mexicana que establece (NOM-062-ZOO-1999), y 2) Evaluación *in vitro* de dietas experimentales.

6.1. Localización

El experimento de campo se realizó de febrero a abril del 2019, en la unidad de producción (UP) “Rancho Canutillo” en el municipio de Acatlán, Hidalgo, en las coordenadas 20.181455450535843, -98.41086413149795 (Google-Maps, 2022). El clima es templado con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 178 mm. La temperatura media anual es de 14°C, con una humedad atmosférica media de 18%. La UP se localiza a una altitud de 2120 m.

Los análisis de los alimentos, de las dietas y la leche, así como la evaluación *in vitro* de las dietas experimentales fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal de Investigación, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, localizado en Cd. Universitaria de Tulancingo, Hidalgo, en las coordenadas 20.0638336300057, -98.38013004234072 (Google-Maps, 2022).

6.2. Fase 1: experimento de campo con vacas en pastoreo

Características de los animales y tratamientos

Se utilizaron 6 vacas multíparas encastadas con Holstein y Pardo Suizo, con un peso promedio de 543 ± 77 kg y una producción de leche de 12.3 ± 0.8 kg vaca⁻¹ por día. Las vacas fueron aleatoriamente asignadas en uno de los dos tratamientos

(TEST y SOY) en 4 periodos experimentales de 21 días (16 de adaptación y 5 de medición). Los tratamientos fueron: TEST = 20 h de acceso a la pradera, 2 kg de forraje henificado en base húmeda (BH) y 2 kg de concentrado comercial en BH; y SOY = igual al tratamiento testigo más 200 g de semilla de soya tostada molida por vaca al día.

Alimentos y manejo alimenticio

La alimentación fue de acuerdo con un sistema mixto, que se constituye de pastoreo en praderas polifitas (Orchard [*Dactylis glomerata*], Raigrass anual [*Lolium multiflorum*], Raigrass perenne [*Lolium perenne*], Trébol rojo [*Trifolium pratense*] y Trébol blanco [*Trifolium repens*]) y la complementación de heno más concentrado comercial (Lechero 16%®) en el establo. El sistema de pastoreo fue de tipo rotacional con la oferta de 25 kg MS vaca⁻¹ y día. Los animales tuvieron libre acceso al agua de bebida tanto en las praderas como en la estabulación.

Cuadro 6. Composición nutrimental de los alimentos proporcionados a las vacas y de las dietas evaluadas *in vitro* (g kg⁻¹)

Variable	Alimentos				Dietas <i>in vitro</i>	
	Lechero 16%®	Soya	Pradera	Heno	TEST	SOY
MS	890	951	898	915	913	918
MO	873	932	880	897	895	900
Cen	17	18	18	18	17	17
PC	173	354	199	78	170	166
FDN	357	369	548	709	472	464
FDA	147	114	233	373	227	218
DIVMS	77	79	70	59	71	71

Desarrollo experimental

Dos ordeños se realizaron diariamente, mientras que los animales se pesaron al inicio y al final de la etapa de medición de cada periodo.

La producción de biomasa en la pradera se midió un día antes de iniciar la etapa de medición en cada periodo, con el objetivo de ajustar el tamaño de potrero en función de la asignación de pasto (kg de MS por vaca y día). La biomasa forrajera se determinó colectando el forraje contenido en 2 m² con un cuadrante de 0.25 m², el cual fue arrojado (en forma de zig-zag) en ocho ocasiones aleatoriamente en la pradera cortando a ras de suelo el forraje presente dentro del cuadrante, posteriormente fue pesado el pasto colectado. Al final de la recolección, las muestras se secaron en un horno de microondas según la técnica de Teuber et al. (2007).

Al término del ordeño por la mañana, los animales fueron trasladados a la pradera donde permanecieron hasta el ordeño de la tarde, una vez terminado el ordeño fueron enviados nuevamente a la pradera hasta el ordeño matutino del siguiente día. Individualmente, en el establo tuvieron acceso al heno y al concentrado comercial según correspondió su tratamiento. El consumo de heno y concentrado comercial fue registrado diariamente de manera individual por diferencia entre la oferta y el rechazo, así mismo se registró la producción de leche individual en ambos ordeños.

El consumo de pasto se estimó mediante el método descrito por Macoon et al. (2003), a partir de los requerimientos de energía neta, mediante el cálculo de los requerimientos de energía neta total del ganado lechero (ENL), estimados a partir de la aplicación de las ecuaciones de predicción del NRC (2001) y de los aportes de energía neta de los alimentos consumidos en el comedero. Para dicha estimación, se aplicó el procedimiento de ecuaciones de los requerimientos de energía neta total del ganado lechero, incluyendo las necesidades de energía neta para lactación, mantenimiento, cambio de peso corporal, actividades en el pastoreo

y de desplazamiento o caminata. La energía neta para lactación, desde el consumo de pasto, fue estimado por diferencia entre los requerimientos de ENL, menos la energía ingerida por los alimentos suministrados en la ordeña. El contenido de energía neta para lactación de los alimentos fue calculado con las ecuaciones descritas por Menke y Steingass (1988), a partir del contenido de fibra detergente ácido.

Se tomó una muestra del heno y alimento comercial al momento de ofrecerlo en los comederos individuales, y el pasto fue muestreado utilizando la técnica de pastoreo simulado (Wayne, 1964). Las muestras recolectadas fueron conservadas en refrigeración (-4°C) hasta su análisis en laboratorio.

La leche se muestreó individualmente al momento de los ordeños (50 ml), posteriormente se preparó una alícuota la cual era utilizada para su posterior análisis en laboratorio.

Análisis de laboratorio

Para el análisis de la composición química, las muestras de los alimentos fueron secados en estufa de aire forzado a 55°C por 24 h, se molieron con malla de 2 mm y se conservaron en bolsas de nylon. El contenido de MS y de cenizas fue calculado por pérdida de peso tras desecación de la muestra a $100 \pm 1^\circ\text{C}$ en estufa de aire forzado durante 24 h, seguida de la incineración en mufla a 550°C durante 4 h; el contenido de proteína cruda se determinó por el método Kjeldalh (AOAC 2012); el análisis de fibra detergente ácido (FDA), FDN y lignina detergente ácido (LDA) fue realizado por el método descrito por Van Soest et al. (1991).

La composición química de la leche (grasa, proteína y lactosa) fue determinada con un analizador de leche (LAC-SPA60®).

6.3. Fase 2: elaboración de las dietas en el laboratorio

Preparación de las dietas y su análisis químico

Se elaboraron dietas utilizando proporcionalmente los ingredientes consumidos por los animales en cada periodo y tratamiento, para calcular la degradabilidad de la MS y la FDN, la producción de gas total y la cinética de producción de gas *in vitro* por la técnica de Theodorou et al. (1994). Para cada periodo y tratamiento, en un vial serológico (125 ml) se agregaron 0.5 g de la muestra seca y 49.5 ml de una mezcla de solución mineral reducida, con inóculo ruminal en presencia de flujo continuo de CO₂ como lo describen Del Razo et al. (2015). La solución mineral fue preparada con 50 mL de Na₂CO₃ al 8% (P/V), 75 mL de K₂HPO₄ al 0.6% (P/V), 6 g (NH₄)₂SO₄ por L, 0.9 g NaCl por L, 0.18 g MgSO₄ por L y 0.12 g CaCl₂·H₂O por L; 780 mL H₂O destilada; 20 mL de 25 g L-cysteina y 25 g de Na₂S por L; y, 0.4 mL de 1 g resazurina por L. El inóculo ruminal se obtuvo por medio de sonda gástrica de tres animales de la unidad de producción donde se realizó la fase experimental de campo, se filtró con una manta de cielo para eliminar macropartículas. Los viales fueron sellados con un tapón de neopreno y un arillo de aluminio con centro removible y se incubaron en baño maría a 39 °C por 72 h. Al final de la incubación se midió el pH del fluido ruminal (pH/ORP Meter, modelo HI-2211; Hanna Instruments®).

El volumen de de gas producido *in vitro* (5 viales por periodo y tratamiento) se calculó usando una ecuación de regresión simple, $y = 7.4894x - 0.6939$ (R² = 0.99), donde y = mL de gas producido, y x = presión registrada, ésta se midió con un manómetro digital (Métron®, México) en el rango de 0 – 1 kg/cm², y un vial serológico (125 ml) con 50 ml de agua en seis medidas equidistantes conocidas de 5 ml repetido en tres ocasiones. Las mediciones durante la incubación fueron a las 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 48, 60 y 72 h, el gas producido se liberó después de realizar cada lectura. Los mL de gas producidos se usaron para obtener los parámetros de la cinética de producción de gas con la ecuación $V = V_m \times \{1 + \exp(2 + 4(\lambda - t))\}^{-1}$, dónde: V es el volumen de gas en el tiempo t, V_m es el volumen máximo a t = ∞, S es una constante de velocidad llamada tasa específica (velocidad

máxima / volumen máximo), y λ (L) es una constante de integración equivalente a un plazo de retraso (Almaraz-Buendía et al., 2019).

Al final de la incubación, la muestra residual de los viales se filtró a través de bolsas ANKOM® taradas en seco y selladas *a posteriori*. El total de bolsa más el residuo se secó a 60 °C durante 24 h en estufa de aire forzado. El porcentaje de degradación *in vitro* aparente de la MS se calculó como $100 * ((\text{muestra inicial} - \text{muestra residual}) / \text{muestra inicial})$. Las bolsas ANKOM® con los residuos de MS se sellaron para determinar FDN según Van Soest et al. (1991). El porcentaje de degradación de FDN se calculó como $100 * ((\text{FND inicial} - \text{FND residual}) / \text{FND inicial})$ (Hernández-Morales et al., 2018).

La producción de metano (CH₄) (g/día) se estimó con la ecuación = $20.7 * \text{consumo total en kg de MS al día}$, propuesta para animales que ingieren altas cantidades de forrajes frescos (Charmley et al., 2016).

6.4. Análisis estadístico

Las variables de comportamiento productivo fueron analizadas con un modelo general lineal con un diseño de bloques completos al azar con el programa estadístico SAS (2002) con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_{xj} + E_{ijk}.$$

Donde:

Y_{ijk} = es respuesta de las variables dependientes;

μ = media general;

P_i = efecto del periodo;

T_{xj} = efecto de la dieta;

E_{ijk} = error residual.

Las variables de parámetros de fermentación se analizaron con un modelo general lineal con un diseño completamente al azar con el programa estadístico SAS (2002) con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_{xi} + E_{ij}.$$

Donde:

Y_{ij} = es respuesta de las variables dependientes;

μ = media general;

T_{xi} = efecto de la dieta;

E_{ij} = error residual.

En aquellas variables donde se observó significancia ($P < 0.05$) se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias (Steel et al., 1997).

VII. RESULTADOS

El Cuadro 7 muestra el consumo, tanto de materia seca, forraje verde, y consumo de acuerdo con su peso vivo, además de la eficiencia alimenticia y la producción de metano. No existe diferencia ($P>0.05$) en ninguna de estas variables analizadas.

Cuadro 7. Consumo de alimento, eficiencia alimenticia y producción de metano de vacas en pastoreo con la adición de grano tostado de soya en su alimentación

Variables	Testigo	Soya tostada	EEM	P<
Consumo de forraje verde, kg/día	9.755	9.737	0.0656	0.9565
Consumo de materia seca total, kg/día	12.795	12.779	0.0656	0.5777
Consumo de materia seca de acuerdo a su peso vivo, %	2.3	2.4	0.0218	0.3819
Eficiencia alimenticia	1.04	1.01	0.0077	0.5185
Producción de metano, g/día	264	268	1.3590	0.5777
Peso vivo al inicio del experimento, kg	545	530	6.6278	0.6314

En el Cuadro 8 se muestra la producción de leche, su composición química y el rendimiento de componentes mayoritarios de la leche. De igual manera, no se observaron diferencias entre tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 8. Eficiencia productiva de vacas en pastoreo con la adición de grano tostado de soya en su alimentación

Variables	Testigo	Soya tostada	EEM	P<
Producción de leche, kg	13.340	13.149	0.0874	0.6598
Composición química, g/kg				
Grasa	32	34	0.3342	0.1324
Proteína	31	32	0.1564	0.2040
Lactosa	47	47	0.1031	0.4187
Rendimiento, g/día				
Grasa	439	454	5.9880	0.3595
Proteína	416	423	3.2032	0.6899
Lactosa	631	631	4.5935	0.9104

En el Cuadro 9 se observa el pH de los viales de digestión, los parámetros de fermentación ruminal y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y fibra detergente neutro. Tampoco se observaron diferencias entre tratamientos por efecto de la adición de grano tostado de soya en la dieta ($P>0.05$).

Cuadro 9. Parámetros de fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro* de la dieta de vacas en producción en pastoreo con la adición de grano tostado de soya

Variables	Testigo	Soya tostada	EEM	$P<$
Vm, mL/g MS	189.4	188.4	0.3505	0.5943
S, h	0.2864	0.0288	5.955 E-5	0.6078
L, h	0.2085	0.4285	0.0316	0.2296
Digestibilidad de la materia seca, %	61	60	0.2526	0.2339
Digestibilidad de la fibra detergente neutro, %	40	45	0.7108	0.0834
pH a 72 h de incubación	6.7	6.8	0.0031	0.2483

VIII. DISCUSIÓN

8.1. Consumo de materia seca y eficiencia alimenticia

El consumo de forraje verde fue, en promedio, de 9.74 kg por animal por día. Este consumo se obtuvo considerando la permanencia de los animales en la pradera durante 20 horas al día. Este consumo es bajo de acuerdo con el peso vivo de los animales y probablemente se debió al contenido de FDN que tienen los forrajes en general (NRC, 2001). La FDN es un componente estructural de los alimentos que mientras mayor sea el contenido en el forraje menor será la ingesta de materia seca en los rumiantes (Van Soest et al., 1993).

En un estudio previo, Vieyra-Alberto et al. (2018) muestran un consumo de forraje verde de 6.6 kg MS vaca⁻¹día⁻¹, el cual es menor al observado en esta investigación; sin embargo, ellos asignaron 20 kg vaca⁻¹día⁻¹ y con restricción de acceso a la pradera de 12 horas al día. Por otro lado, Perez-Ramirez et al. (2008) encontraron un consumo similar de 9.5 kg de forraje verde en la pradera, asignando 11 kg vaca⁻¹día⁻¹ y con acceso de 4 horas al día.

El consumo de materia seca total de las vacas en este estudio fue en promedio de 12.78 kg día⁻¹. Este consumo es bajo respecto a su peso, posiblemente se debió a la cantidad de forraje consumido en la pradera más el forraje henificado ofrecido durante la ordeña. Ambos ingredientes contienen una alta proporción de FDN como se observa en el Cuadro 6. A medida que incrementa el contenido de FDN reduce el consumo de MS en rumiantes (Ángeles-Hernández et al., 2020). Nuestros resultados sobre el consumo de MS son acordes con los observados por Lee et al. (2009), en los que tampoco se observaron diferencias en la ingesta de alimento, con 7.5 y 15% de grano de soya extruida a la dieta.

La eficiencia alimenticia (EA= kg leche vaca al día / consumo total MS al día) podría mejorarse cuando en la dieta de vacas en pastoreo se incluyen semillas de oleaginosas (Vieyra-Alberto, 2017). Animales que pastan forrajes de buena calidad reciben las cantidades suficientes de PC, pero no logran cubrir las necesidades de energía requerida para la producción. Esta deficiencia de energía puede ser compensada con ingredientes con altas cantidades de lípidos como lo son las semillas de oleaginosas (Plata-Pérez et al., 2022).

Estudios previos demuestran que en unidades de producción donde su alimentación se basa en el pastoreo, la rentabilidad aumenta cuando la eficiencia alimenticia es mayor a 1.0 (Vieyra-Alberto, 2017). En este estudio, la eficiencia alimenticia en el grupo testigo fue de 1.03 y en el grupo de soya tostada fue de 1.01. Cabe señalar que la rentabilidad está influenciada también por factores ambientales, sociales y culturales (Posadas-Domínguez et al., 2018).

8.2. Producción de leche y composición química

La producción de leche, su composición química y el rendimiento de los mismos no variaron con la adición de soya tostada molida en la dieta, debido probablemente al porcentaje mínimo de soya que se añadió (200 g día⁻¹). Esto concuerda con Vieyra-Alberto et al. (2022) quienes adicionaron 380 g de grano de soya de vacas en pastoreo. Gao et al. (2009) y Liu et al. (2008) incluyeron 7.5 % de soya tostada molida en la dieta de vacas en estabulación y no observaron diferencia en la producción de leche, ni en sus componentes mayoritarios. Con la inclusión de 10.7 % de grano extruido de soya, el rendimiento de leche se incrementó de 25.4 a 26.5 kg día⁻¹ (Ye et al., 2009), mientras que con 11.9 % de grano de soya extruido se incrementó la producción de leche en un 26.8% (Dhiman et al., 1999) y con una inclusión de un 15 % en la dieta aumentó 2.5 % de producción de leche (Lee et al. 2009).

Algunos componentes de la leche de vaca se han alterado de acuerdo al nivel de inclusión de grano de soya en la dieta, por ejemplo, se observó una disminución del 13% del contenido de grasa en la leche (de 4.06 a 3.53 %) cuando se incluyó 10% de semilla extruida de soya (Chen et al., 2008). Similarmente, con 11.9 % de grano de soya extruido se redujo en 11.9 % la grasa y en 8.3 % la proteína en leche (Dhiman et al., 1999). Incluir 10.7% de grano de soya extruida en una dieta de vacas Holstein en estabulación basada en la mezcla 50:50 de forraje y concentrado, disminuye el contenido de grasa láctea en 11.1% (Ye et al., 2009). También, Lee et al. (2009) observaron que la grasa láctea disminuye un 2.8% cuando se incluye 15 % de grano extruido de soya en la dieta de vacas lecheras.

Contrario al párrafo anterior, en otro estudio donde se incluyó 7.5 % de grano extruido de soya aumentó el contenido de grasa y proteína en la leche en 0.7 y 3.5 %, respectivamente (Lee et al., 2009). Finalmente, la inclusión de 16 % al inicio de la lactación aumentó la grasa en la leche en 9.3 % (Gandra et al., 2016).

El rendimiento de grasa, proteína y lactosa es el producto de la multiplicación del contenido de estos componentes mayoritarios y la producción de leche por día. No hubo diferencia de estas variables entre los tratamientos.

8.3. Parámetros de fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro*

Ninguna de las variables estudiadas fue afectada por la inclusión de grano tostado molido de soya. Esto pudo deberse al nivel de inclusión de este grano en las dietas. Similar a nuestros resultados, en otro estudio no se observó diferencia en el pH ni en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca cuando se incluyeron 100 g de soya en las dietas (Xiao-ge et al., 2021). Al incluir 10 % de semillas de canola, girasol o linaza tampoco se observó diferencia en la digestibilidad de la MS (Kubelková et al., 2018). Las semillas de oleaginosas, a diferencia de los lípidos, no afectan los parámetros de la fermentación ruminal y puede deberse al nivel de inclusión en las

dietas o al porcentaje de ácidos grasos totales en estas oleaginosas (Orzuna-Orzuna et al. 2022).

La inclusión de 3 o 6 % de aceite de soya en la dieta de novillas redujo la digestibilidad ruminal de la FDN en comparación con la dieta control (Hess et al., 2001). Cuando se rebasa el 6% de lípidos en la dieta de vacas se reduce la actividad microbiana en el rumen y tiene como consecuencia un menor consumo de alimento y una menor síntesis de grasa en la leche (Chamberlain y Wilkinson,1996), por tanto, se debe prestar especial atención en el nivel de inclusión de los lípidos en las dietas.

IX. CONCLUSIONES

La adición del grano tostado y molido de soya en la dieta de las vacas lecheras en pastoreo no afecta la producción de leche, el rendimiento de sus componentes mayoritarios, así como la fermentación ruminal y digestibilidad *in vitro*, lo que indica que al adicionar 200 g de grano de soya es una opción atractiva como fuente de proteína y energía para la alimentación de las vacas lecheras.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almaráz-Buendía, Isaac, Adriana Hernández-Escalona, Roberto González-Tenorio, Nestor Santos-Ordoñez, José Jesús Espino-García, Víctor Martínez-Juárez, Martin A. Meza-Nieto, and Rafael Germán Campos Montiel. (2019). Producing an Emulsified Meat System by Partially Substituting Pig Fat with Nanoemulsions that Contain Antioxidant Compounds: The Effect on Oxidative Stability, Nutritional Contribution, and Texture Profile. *Foods* 8, no. 9: 357. <https://doi.org/10.3390/foods8090357>
- Ángeles-Hernandez, J.C; Vieyra-Alberto, Rodolfo; Kebreab, Ermias; Appuhamy, Jayasooriya; Dougherty, Holland; Castelan-Ortega, Octavio; Ronquillo, Manuel. (2020). Effect of forage to concentrate ratio and fat supplementation on milk composition in dairy sheep: A meta-analysis. *Livestock Science*. 238. 104069. 10.1016/j.livsci.2020.104069.
- Angulo A, Joaquín, Mahecha L, Liliana, Olivera A, Martha. (2009). SÍNTESIS, COMPOSICIÓN Y MODIFICACIÓN DE LA GRASA DE LA LECHE BOVINA: Un nutriente valioso para la salud humana. *Revista MVZ Córdoba* , 14 (3), 1856-1866.
- Angulo, J., & Olivera, M. (2017). Fisiología de la producción láctea en bovinos: Involución de la glándula mamaria, lactogénesis, galactopoyesis y eyección de la leche (N.º 14). *Biogénesis*.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 2012. *Official Methods of Analysis*. 19th ed. AOAC: International, USA. pp: 34-36.
- Arriaga, J. C., Espinoza, A., Albarran, P. B., & Catelan, O. O. (2000). Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: Una alternativa para el altiplano central. *Ciencia ergo sum*, 6(3), 290–300. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401610.pdf>

- Cerón, J; Correa, H. (2005). Factores nutricionales que afectan la composición de la leche. *Biogénesis*.
- Charmley E, Williams SRO, Moate PJ, Hegarty RS, Herd RM, Oddy VH, Reyenga P, Staunton KM, Anderson A, Hannah MC (2016) A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science* 56, 169–180
- Chen, P., Ji, P., & Li, S. (2008). Effects of feeding extruded soybean, ground canola seed and whole cottonseed on ruminal fermentation, performance and milk fatty acid profile in early lactation dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(2), 204-213
- de Luna Jiménez, A., (2006). Valor Nutritivo de la Proteína de Soya. *Investigación y Ciencia*, 14(36),29-34.[fecha de Consulta 20 de Febrero de 2023]. ISSN: 1665-4412. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67403606>
- Dhiman, A.C. Korevaar, L.D. Satter. (1997). Particle Size of Roasted Soybeans and the Effect on Milk Production of Dairy Cows^{1,2}, *Journal of Dairy Science*, 80(8), 1722-1727. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76104-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76104-6).
- Dhiman, E.D. Helmink, D.J. McMahon, R.L. Fife, M.W. Pariza. (1999). Conjugated Linoleic Acid Content of Milk and Cheese from Cows Fed Extruded Oilseeds¹. *Journal of Dairy Science*, 82 (2), 412-419, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75247-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75247-1).
- Dyce, K. M., & Wensing, C. J. G. (2010). Textbook of veterinary anatomy (4.a ed.). Elsevier.
- Elizondo, J. A. (2010). Anatomía de la ubre y secreción de la leche. *ECAG informa*, 54, 32–35.

- Engelhardt, W; Breves, G. (2005). Fisiología veterinaria. ACRIBIA.
- FIRA. (2019). Panorama agroalimentario leche y lácteos. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Leche-y-la769cteos-2019.pdf>
- Gandra, R.D. Mingoti, R.V. Barletta, C.S. Takiya, L.C. Verdurico, J.E. Freitas, P.G. Paiva, E.F. Jesus, G.D. Calomeni, F.P. Rennó. (2016). Effects of flaxseed, raw soybeans and calcium salts of fatty acids on apparent total tract digestibility, energy balance and milk fatty acid profile of transition cows. *Animal*. 10 (8), 1303-1310. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000264>.
- Gao, Y., Sun, T. & Li, J. (2009) Effect of oilseeds rich in linoleic and linolenic acids on milk production and milk fatty acid composition in dairy cows. *Front. Agric. China* 3, 311–318. <https://doi.org/10.1007/s11703-009-0022-1>
- Hernández Morales, Patricia, Estrada-Flores, Julieta Gertrudis, Avilés-Nova, Francisca, Yong-Angel, Gilberto, López-González, Felipe, Solís-Méndez, Alejandra Donají, & Castelán-Ortega, Octavio A.. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y ciencia*, 29(1), 19-31.
- Hernández-Morales, Jahdai, Sánchez-Santillán, Paulino, Torres-Salado, Nicolás, Herrera-Pérez, Jerónimo, Rojas-García, Adelaido R., Reyes-Vázquez, Iván, & Mendoza-Núñez, Mario A.. (2018). Composición química y degradaciones in vitro de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(1), 105-120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>
- Lee, Hae-Geon & Hong, Z.S. & Wang, J.H. & Xu, Cheng-Xiong & Jin, Yongcheng & Kim, T.K. & Kim, Y.J. & Song, Mee Kee & Choi, Young. (2009). Milk Conjugated Linoleic Acid (CLA) Profile and Metabolic Responses of Dairy Cows Fed with High-temperature-micro-time (HTMT) Treated Diets

- Containing High Quantity Extruded Soybean (ESB). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 22. 10.5713/ajas.2009.70354.
- Lemus Ramírez, Vicente, Guevara Escobar, Aurelio, García Rodríguez, Juan Antonio, Gaspar Sánchez, Delia, García Muñiz, José Guadalupe, & Pacheco Ríos, David. (2020). Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa*) en el altiplano mexicano. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 1-18. Epub 11 de junio de 2020. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4814>
- Macon, B., Sollenberger, E., Moore, E., Staples, R., Fike, H. and Portier, M. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal of Animal Science*, 81: 2357-2366.
- Martin, C. ; Rouel, J. ; Jouany, J. P. ; Doreau, M. ; Chilliard, Y., (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *J. Anim. Sci.*, 86 (10): 2642-2650
- Menke, H.H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28: 7–55.
- Michael K. Theodorou, Barbara A. Williams, Mewa S. Dhanoa, Alex B. McAllan, James France. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds, *Animal Feed Science and Technology*, 48 (3–4). 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6).
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th ed.; National Academic Press: Washington, DC, USA; p. 292.
- Pérez-Ramírez, E., Delagarde, R., & Delaby, L. (2008). Herbage intake and behavioural adaptation of grazing dairy cows by restricting time at pasture under two feeding regimes. *Animal*, 2(9), 1384-1392.

- Plata-Pérez, G.; Angeles-Hernandez, J.C.; Morales-Almaráz, E.; Del Razo-Rodríguez, O.E.; López-González, F.; Peláez-Acero, A.; Campos-Montiel, R.G.; Vargas-Bello-Pérez, E. Vieyra-Alberto, R. (2022) Oilseed Supplementation Improves Milk Composition and Fatty Acid Profile of Cow Milk: A Meta-Analysis and Meta-Regression. *Animals*, 12. <https://doi.org/10.3390/ani12131642>
- Posadas-Domínguez, R.R., Del Razo-Rodríguez, O.E., Almaraz-Buendía, I. et al. Evaluation of comparative advantages in the profitability and competitiveness of the small-scale dairy system of Tulancingo Valley, Mexico. *Trop Anim Health Prod* 50, 947–956 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1516-8>
- SADER. (2021). Convoca Agricultura a impulsar el consumo de leche en México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/convoca-agricultura-a-impulsar-el-consumo-de-leche-en-mexico>
- SADER. (2021). Crece la producción de leche en México:SAGARPA. Recuperaod de:<https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-en-mexico-sagarpa-158944?idiom=es>
- SAGARPA (2017). Manual de buenas prácticas pecuarias, sistemas de explotación extensivo y semi-intensivo de ganado bovino de doble propósito. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/95428/SistemadeExplotaci_n_Extensivo_y_SemiExtensivo_de_Bovinos_de_Doble_Proposito.pdf
- SAS (2002) SAS/STAT. Statistical Analysis System. Guide for personal computers version Ver 9.0. Institute Inc., Cary. 956p
- Shi-jun LIU; Jia-qi WANG; Deng-pan BU; Hong-yang WEI; Ling-yun ZHOU; Qiu-jiang LUO (2007). *The Effect of Dietary Vegetable Oilseeds Supplement on Fatty Acid Profiles in Milk Fat from Lactating Dairy Cows.* , 6(8), 1002–1008. doi:10.1016/s1671-2927(07)60140-0

- Sisson, S., & Grossman, J. D. (1982). *Anatomía de los animales domésticos* (Quinta ed.). Barcelona, España: MASSON.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. and Dicky, D.A. (1997) Principles and Procedures of Statistics, A Biometrical Approach. 3rd Edition, McGraw Hill, Inc. Book Co., New York, 352-358.
- Teuber, K. N., Balocchi, L. O. and Parga, M. J. (2007). Manejo del Pastoreo. Imprenta America. Chile. 129 p
- Tobia, C., & Villalobos, E. (2004). PRODUCCIÓN y VALOR NUTRICIONAL DEL FORRAJE DE SOYA EN CONDICIONES TROPICALES ADVERSAS. *Agronomía Costarricense*, 28(1). Recuperado 7 de abril de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/436/43628102.pdf>
- Van Soest, P.J., Roberson, J.B. and Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3897
- Vargas, L. (2010). Morfocinética ruminal. En *Rumen: Morfofisiología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa* (3.a ed., pp. 1–11). América.
- Vieyra-Alberto, R., Zetina-Martínez, R. E., Olivares-Pérez, J., Galicia-Aguilar, H. H., Rojas-Hernández, S., & Ángeles-Hernández, J. C. (2022). Effect of soybean grain (*Glycine max* L.) supplementation on the production and fatty acid profile in milk of grazing cows in the dry tropics of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 54(1), 1-9.
- Vieyra-Alberto, Rodolfo, Arriaga-Jordán, Carlos M., Domínguez-Vara, Ignacio A., Bórquez-Gastelum, José L., & Morales-Almaráz, Ernesto. (2017). Efecto del aceite de soya sobre la concentración de los ácidos grasos vaccenico y ruménico en leche de vacas en pastoreo. *Agrociencia*, 51(3), 299-313.
- Wattiaux, M. A. (2005). Secreción de leche por la ubre de una vaca lechera. En *esenciales lecheras. Guías técnicas lecheras*. Instituto Babcock (pp.77-80). Wisconsin, E.U.A.: Universidad de Wisconsin-Madison.

Ye, J.A.; Wang, C.; Wang, H.F.; Ye, H.W.; Wang, B.X.; Liu, H.Y.; Wang, Y.M.; Yang, Z.Q.; Liu, J.X. (2009) Milk production and fatty acid profile of dairy cows supplemented with flaxseed oil, soybean oil, or extruded soybeans. *Acta Agric. Scand A Anim. Sci.* 59, 121–129.

XI. ANEXOS

11.1. Resumen Publicado en el Congreso Latinoamericano de Producción Animal

[CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN]



A:

Por su valiosa participación en la presentación del trabajo en modalidad Cartel:

durante la XLVIII Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C., y la XXVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, llevada a cabo en las instalaciones del Palacio de Convenciones del Estado de Zacatecas, con un valor curricular de 10 hrs.

Zacatecas, Zac., 28 de Abril de 2023


Dr. José Manuel Silva Ramos
Director UAMVZ


M. Sr. Abelardo Conde Pulgarín
Presidente ALPA


Dr. José Herrera Camacho
Presidente AMPA