



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**EFFECTO DE LAS DIETAS DE VACAS LECHERAS SOBRE LOS NIVELES DE
NITROGENO UREICO EN LECHE EN TRES UNIDADES DE PRODUCCION EN
EL SUROESTE DEL ESTADO DE MEXICO**

TESIS

QUE PRESENTA:

**EDNA SUSANA CASTILLO GÓMEZ
INES MACÍAS MARTÍNEZ**

**COMO OPCIÓN DE EVALUACIÓN PROFESIONAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**DR. BENITO ALBARRAN PORTILLO
ASESOR**

DR. ANASTACIO GARCÍA MARTÍNEZ

**M. en CARN SHEREZADA ESPARZA JIMÉNEZ
CO ASESORES**

TEMASCALTEPEC DE GONZÁLEZ, MÉXICO; OCTUBRE, 2022

I. RESUMEN

En este estudio se determinó la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) y su relación con las características nutricionales de las dietas utilizadas en tres unidades de producción (UP) de las cuales una es intensiva (Int), otra semi-intensiva (Sint) y por último una extensiva (Ext). Todos los seres vivos requieren de nitrógeno para realizar actividades metabólicas indispensables. Sin embargo, las UP de leche aportan de manera importante al incremento de gases de efecto invernadero, principalmente con excreciones de nitrógeno (N). Esto es ocasionado desde el uso de fertilizantes para la producción de forrajes hasta las excreciones de heces y orina. Se ha investigado que estas excreciones de NUL equivalen a las excreciones de Nitrógeno en orina (NO) y se dan por un exceso de proteína cruda implementada en las dietas. Se obtuvieron muestras de leche y de las dietas (suplementos y forrajes) mensuales de cada UP.

Posteriormente se realizaron análisis bromatológicos en los alimentos; y en la leche, se sometió en el analizador Lactoscan para después desarrollar NUL a través de la técnica de Kendall con espectrofotómetro. Posteriormente se estimó que los concentrados y forrajes con el mayor nivel de proteína cruda (PC) fueron en orden descendente para las UP Int, Sint y Ext, respectivamente.

II. ÍNDICE

I. DEDICATORIAS	¡Error! Marcador no definido.
II. RESUMEN	2
III. AGRADECIMIENTOS	¡Error! Marcador no definido.
IV. ÍNDICE.....	3
V. ÍNDICE DE CUADROS.....	7
VI. ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
III. HIPOTESIS	12
IV. JUSTIFICACIÓN	13
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
5.1. ORIGEN.....	15
5.1.1. <i>Importancia de la leche y ganadería en general</i>	15
5.1.2. <i>Raza y Genotipo animal</i>	17
5.1.3. <i>Peso vivo y condición corporal</i>	19
5.1.4. <i>Requerimientos nutricionales en vacas lecheras</i>	22
5.1.5. <i>Etapas de lactación</i>	24
5.1.6. <i>Calidad y Composición de la leche</i>	26

5.1.7. <i>Composición de la grasa de la leche</i>	28
5.1.8. <i>Ácidos grasos en la leche y sus efectos en la salud humana</i>	29
5.2. IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA.....	31
5.2.1. <i>Importancia de la producción pecuaria en la República Mexicana</i>	31
5.2.2. <i>Importancia de la producción pecuaria en el Estado México</i>	34
5.2.3. <i>Importancia Económica de la producción de leche</i>	35
5.2.3.1. <i>Resumen Nacional</i>	40
5.2.3.2. <i>Población ganadera 2011-2020</i>	40
5.3. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA EN MÉXICO: PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN.....	41
5.4. AVANCE MENSUAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA	43
5.5. TIPOS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	43
5.7. ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS.....	44
5.7.1. <i>Estrategias de alimentación en diferentes Unidades de producción</i>	44
5.7.2. <i>Requerimientos nutricionales de animales en pastoreo</i>	45
5.7.3. <i>Recomendaciones de dietas en ganado lechero</i>	46
5.7.4. <i>Consumo voluntario</i>	47
5.7.5. <i>Alimentación, suplementación en pastoreo</i>	48
5.7.6. <i>Factores que influyen en el consumo de Materia Seca de vacas en pastoreo</i>	50
5.7.7. <i>Efecto del pastoreo</i>	50
5.8. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS, PRODUCTORAS DE UNIDADES DE DOBLE PROPÓSITO (UPDP)	51
5.9. PROTEÍNA CRUDA EN GANADERÍA LECHERA.....	52
5.9.1. <i>Metabolismo de la proteína en rumen</i>	52
5.9.2. <i>Transformación de la proteína en el rumen</i>	56
5.9.3. <i>Síntesis de proteína</i>	57
5.9.4. <i>Degradación de proteínas a través de enzimas microbianas</i>	57
5.9.5. <i>Importancia del balance proteína / energía en la dieta</i>	58
5.9.6. <i>Rumen y sus microorganismos</i>	62

5.9.7. Medio ambiente ruminal	63
5.9.8. Número y clases de bacterias	63
5.9.9. Bacterias proteolíticas	64
5.9.10 Protozoarios en el rumen	64
5.10. Problemas ambientales derivado de la producción animal y de sobrealimentación con excesos de Proteína Cruda	65
5.10.1 Desperdicios de nitrógeno en la producción de ganado lechero	70
5.10.2. Importancia de los niveles de nitrógeno ureico como indicadores de la nutrición	74
5.10.3. La urea en el organismo animal	76
5.10.4. Urea en leche	76
5.10.5. Rangos de Nitrógeno Ureico en Leche	77
5.10.6. Análisis de NUL como indicador de balance de energía proteica	78
5.10.6. Factores que influyen en los niveles de NUL	81
5.11. Estrategias para reducir las excreciones de nitrógeno al medio ambiente	82
5.11.1. Desperdicios de nitrógeno en la producción de ganado lechero	86
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	90
6.1. SITIO EXPERIMENTAL	90
6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS	90
6.2.1. Análisis de suplementos	90
6.2.2. Peso y condición corporal	91
6.2.3. Mediciones de la leche	91
6.2.4. Determinación de la composición de leche	92
6.2.5. Diseño experimental y análisis estadístico	92
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	93
7.1. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN SELECCIONADAS	93

7.1.1.	<i>Sistema de producción Intensivo (Int):</i>	93
7.2.	ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y FORRAJES.....	96
7.3.	RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DE LECHE.....	98
7.4.	ESTIMACIONES DE EXCRECIONES DE NITRÓGENO UREICO EN ORINA	103
7.5.	FACTORES QUE DETERMINAN LOS NIVELES DE NUL.....	105
VIII.	CONCLUSIONES	106
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

III. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición general de la leche en diferentes especies (por cada 100gr).....	27
Cuadro 2. Composición general de la leche en diferentes razas de bovinos	28
Cuadro 3. Producciones de leche de bovino en México en 2021	39
Cuadro 4. Comparativo del avance mensual de la producción pecuaria Información al mes de mayo del 2019 y 2020.	40
Cuadro 5. Total, nacional de producción ganadera de bovino leche. Millones de cabezas).....	41
Cuadro 6. Avance mensual de la producción pecuaria en Miles de litros.....	43
Cuadro 9. Composición química de concentrados y forrajes de unidades de producción Intensiva, semi-intensivo y extensiva.....	97
Cuadro 10. Rendimiento de leche por tipo de unidad de producción intensiva (Int), semi-intensivo (Sint) y extensiva (Ext) y por periodo experimental.	¡Error!
Marcador no definido.	
Cuadro 11. Rendimiento de leche por tipo de unidad de producción intensivo (Int), semi-intensivo (Sint) y extensivo (Ext) por periodo experimental.....	¡Error!
Marcador no definido.	

IV. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción Pecuaria en diferentes Estado de la República Mexicana (SADER, 2021).	33
Figura 2. Producción Pecuaria en diferentes Estado de la República Mexicana (SADER, 2021).	34
Figura 3. Patrón de excreción de nitrógeno en orina, heces y leche al variar el consumo de nitrógeno.....	69

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación nos plantea de cómo la ganadería y las diferentes formas de producción han ido afectando de forma directa e indirectamente al medio ambiente, sobre todo al contribuir el aumento de los gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (n₂O), entre muchos otros. Por lo que cabe resaltar que en este estudio veremos primordialmente como los bovinos lecheros excretan nitrógeno al medio ambiente contribuyendo a la generación de gases de efecto invernadero por n₂O.

En un informe la FAO nos explica que la ganadería usa el 30% de la extensión de la tierra del mundo y ocupa un 33% de toda el área cultivable, dedicada a elaborar forraje. La tala de bosques para generar pastos es una de las primordiales razones de la deforestación, en particular en América Latina, donde el 70% de los bosques que han desaparecido en el Amazonas se han dedicado a pastizales. Para contrarrestar la contaminación provocada por el ganado, la FAO sugiere, entre otras medidas, mantener el control de los accesos y remover los obstáculos a la movilidad en los pastos comunales; aumentar la eficiencia de la producción ganadera y de la agricultura forrajera; y mejorar la efectividad de los sistemas de riego.

Una de las características principales de la ganadería y de manera específica de las unidades de producción de leche es que contribuyen de forma fundamental a la contaminación ambiental con nitrógeno (N), desde el uso de fertilizantes para la producción de forrajes, así como en las excreciones de estiércol y orina. Del total del N usado en unidades de producción ganaderas, en torno al 15% es transformado en proteína animal (carne o leche) (Tamminga, 1992). La vaca lechera transforma

entre el 27 y 30% del total del nitrógeno contenido en su dieta en proteína de leche, mientras tanto que lo demás se excreta en heces (33%) y orina (24%) (Barros *et al.*, 2017).

Debido a esto último, ha habido esfuerzos por reducir la proteína cruda en la dieta de vacas lecheras en sistemas de producción intensivos sin influir los rendimientos de leche (Olmos Colmenero and Broderick, 2006; Barros *et al.*, 2017). Del mismo modo, se ha tratado de mejorar las prácticas de ingesta de alimentos y funcionamiento (correcto balance entre energía y proteína en la dieta), aunque el procedimiento más efectivo para minimizar el efecto ambiental de la producción de leche y aumentar la eficiencia de implementación del N fue la reducción de proteína cruda en dietas de vacas en lactación (Huhtanen *et al.*, 2015)

Por lo ya mencionado determinaremos la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) y su relación con las características nutricionales de suplementos utilizados en unidades de producción de doble propósito, para así buscar una manera de desarrollar estrategias que permitan disminuir las excreciones de N al medio ambiente, así como una utilización eficiente del nitrógeno de la dieta.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL) y su relación con las características nutricionales de suplementos utilizados en tres unidades de producción.

2.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de las estrategias de alimentación en tres unidades de producción de doble propósito sobre el nitrógeno ureico en leche en la época de estiaje.

Estimar las excreciones de nitrógeno ureico en orina a partir de fórmulas reportadas en la literatura internacional.

III. HIPOTESIS

No existen diferencias entre los niveles de nitrógeno ureico en leche y nitrógeno ureico en orina de vacas en lactación en unidades de producción Intensiva, Semi-intensiva y Extensiva durante la época de estiaje.

IV. JUSTIFICACIÓN

El cuidado ambiental es uno de los problemas que debemos contrarrestar de manera importante, la emisión de gases de efecto invernadero año con año va aumentando por ello es necesario actuar de inmediato. El sector ganadero es el de incremento más veloz en el planeta comparativamente con otros sectores agrícolas. Es el medio de permanencia de 1300 millones de individuos e implica el 40% de la producción agrícola mundial, además de muchas veces ser el único sustento económico, también las excreciones heces son una fuente importante de fertilizante orgánico para las cosechas.

Sin embargo, este veloz desarrollo tiene un costo alto para el medio ambiente y en la contingencia contra el calentamiento global: esta área es responsable del 9% del dióxido de carbono (CO₂) procedente de las ocupaciones humanas, sin embargo, genera un porcentaje muchísimo más alto de los gases de impacto invernadero más dañinos.

Esta no es una manera directa lo que ocasiona esta contaminación si no que se debe al mal manejo implementado con respecto a las excreciones de heces y orina, por otra parte, el incremento de PC en la dieta hace que este sea afectando de manera indirecta al medio ambiente. En UP lecheras, los animales excretan nitrógeno ureico en orina (NUO), que es una fuente de la emisión de amoníaco (NH₃) a la atmósfera (Powell *et al.*, 2010). Del total del N usado en UP ganaderas, en torno al 15% es transformado en proteína animal (carne o leche) (Tamminga, 1992). La vaca lechera transforma entre el 27 y 30% del total del nitrógeno contenido en su dieta en proteína de leche, mientras tanto que lo demás se excreta en heces (33%)

y orina (24%) (Barros et al., 2017).

Debido a esto último, ha habido esfuerzos por minimizar la proteína cruda en la dieta de vacas lecheras en los diferentes sistemas de producción (Int, Sint y Ext) sin influir en los rendimientos de leche (Olmos Colmenero and Broderick, 2006; Barros et al., 2017). Del mismo modo, se ha tratado de mejorar las prácticas de ingesta de alimentos y funcionamiento (correcto balance entre energía y PC en la dieta), aunque el procedimiento más efectivo para minimizar el efecto ambiental de la producción de leche y aumentar la eficiencia de implementación del N fue la reducción de proteína cruda en dietas de vacas en lactación (Huhtanen et al., 2015).

Así mismo conocer el porcentaje NUL nos ha permitido saber que los excesos de PC implementados por los productores son un problema por el nitrógeno excretado en orina que es transformado en amoníaco (NH_3), por esto mismo es importante llevar a cabo un balance adecuado en las dietas respecto a PC y EM, así podríamos reducir el NUO y bajar el porcentaje de NH_3 que llega a la atmósfera.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Origen

5.1.1. *Importancia de la leche y ganadería en general*

La ganadería bovina en México comienza a través de la introducción de los primeros bovinos por los españoles, en torno al año de 1524, logrando con velocidad su desarrollo y multiplicación por las condiciones naturales favorables que ofrece nuestra región (Ochoa, 2005).

Una de las partes importantes en la ganadería es la producción de leche de bovino, no solo por el elevado costo nutritivo que esta contiene, sino que además cumple un papel importante en el área económica e industrial. En la última década el incremento del consumo mundial de lácteos dependió en gran medida del incremento de los habitantes del mundo. Alrededor del 70% de los aumentos en la demanda se atribuyen a este componente, en tanto que el aumento del consumo por habitante describió el 30% restante (SAGARPA, 2004).

La leche es uno de los alimentos más completos para el ser humano, dadas las características de sus nutrientes, en donde destacan las proteínas, que contienen principalmente una gran cantidad de aminoácidos esenciales. Existe un enorme desarrollo en nutrición humana y su consumo generalizado ha contribuido a mejorar de forma notable el nivel de salud poblacional (SAGARPA, 2018).

Convencionalmente se ha considerado como un alimento completo y equilibrado, proporcionando un alto contenido de nutrientes relacionadas al contenido calórico: aporta proteínas de elevado costo biológico, hidratos de carbono (fundamentalmente a modo de lactosa), grasas, vitaminas liposolubles, vitaminas

del complejo B y minerales, especialmente calcio y fósforo (Fernández et al., 2015).

Aunque México ocupa el lugar número 16 en producción de leche en todo el mundo, es un primer importador mundial de este producto. El rubro más relevante de sus importaciones es la leche en polvo, para terminar los requerimientos de abasto de la industria, así como del Programa de Abasto Social de Leche de LICONSA. A marzo de 2014, las necesidades de abasto de leche en polvo fueron de 309,639 toneladas, de las cuales casi la mitad ha sido satisfecha por medio de las compras al exterior (SAGARPA, 2004).

Es notable que 9 de cada 10 toneladas que se importan a nuestra región, se proceden de USA. En el año 2006, se importaron 143,529 toneladas de leche en polvo; para 2013 la cifra ha sido de 205,228, lo cual significa un crecimiento de 43% en 7 años. Al mes de septiembre de 2014, el volumen de las importaciones ha sido de 146,273 toneladas, porción 6% inferior comparativamente con el mismo mes de 2013, empero que en términos de costo económico sigue implicando una fundamental fuga de divisas c

Las pequeñas explotaciones de producción de leche que existen en México son importantes porque mejoran la seguridad alimentaria, ingresos y medios de vía en el país, además de que generan trabajo en las zonas rurales, así mismo la mejora de diferentes parámetros que influyen directamente en la producción de leche como lo son la reproducción, alimentación, sanidad, por mencionar algunos. Pese a el valor del sistema lechero de pequeña escala, estas explotaciones operan de forma subóptima, lo cual compromete la productividad de sus producciones. Existen 130 organizaciones formales que procesan el 86% de la producción de leche nacional,

con un personal ocupado de 42 mil personas, además de un sinfín de pequeñas empresas familiares, con un costo superior a 380 mil millones de pesos. Así, en México se cuenta con un hato de bovino lechero de alrededor de 2.49 millones de cabezas y bastante más de 300 mil pequeños y medianos productores del lácteo (SAGARPA 2021).

La leche de bovino es el tercer producto pecuario en trascendencia económica, con el 17.22 por ciento del costo nacional, solamente por detrás de la carne de bovino (30%) y la carne de ave (23 %). Esta rama pecuaria crea bastante más de 200 mil empleos directos, permanentes y remunerados, por lo cual, con la producción nacional y las importaciones, el consumo nacional es de 134 litros per cápita (SAGARPA 2021).

5.1.2. Raza y Genotipo animal

En las explotaciones lecheras intensivas, hay componentes fenotípicos y genotípicos como la tasa de concepción al primer servicio, rendimiento reproductivo, que están poderosamente relacionadas a la productividad de las explotaciones lecheras debido a que son parámetros que permiten monitorear la producción de la leche, así como maximizarla (Gonzales 2018).

El constante incremento de la producción de leche por vaca puede atribuirse a las mejoras en genética, salud, reproducción y nutrición. Una más grande producción va acompañada de un más grande estrés, y en determinadas condiciones, de un incremento de trastornos metabólicos y de las patologías que se logren exponer en el instante (Gonzales 2018).

Por esto mismo, la selección de la raza de los animales que se manejan en las unidades de producción es una de las partes más importantes para la productividad de leche, por lo que existen diferentes características fenotípicas y genotípicas que ayudan a mejorar de forma significativa nuestra de esta misma. Aunque para la elección de una raza en específico son varios los factores que se deben considerar, por lo que debemos tener en cuenta las características de lo que nos puede ofrecer cada raza, sin embargo, un factor importante que no tiene que ver con la raza es el tipo de mercado que se tiene y el que se tendrá en un futuro, ya que la alimentación humana está cambiando constantemente (Fernández *et al.*, 2015).

La raza Holstein, más conocida como Holstein Friesian, tuvo origen en el Reino de Holanda y se considera la principal raza para la producción lechera; a partir de este ganado, la selección fue el procedimiento que más influyó en la formación de la raza. Se produjeron algunos cruzamientos con cebú (siglo XVII), con ganado danés y con Shorthorn lechero, pero se abandonaron rápido e influyeron poco (Bavera, 2012).

Gonzales Blanco *et al.* (2018) realizaron un análisis en Costa Rica donde midieron el impacto que representaba la raza del animal (Holstein, Jersey y sus cruces en diferentes proporciones) sobre los valores promedio en cambiantes productivas y reproductivas en las producciones lecheras, concluyendo que en la situación de los puntos productivos, se recibe una producción de leche más grande en la raza Holstein y sus cruces que los animales Jersey, esta diferencia ponderada (1.19 L de leche/animal/día), provoca que, en lactancias ajustadas a 305 días, los animales con un patrón racial Holstein hagan 362,99 L de leche por lactación.

El mejoramiento genético de las poblaciones de vacas lecheras requiere el conocimiento sobre las covarianzas genéticas y fenotípicas de las características económicas importantes (Hansen *et al.*, 2000).

5.1.3. *Peso vivo y condición corporal*

La condición corporal (CC) se define como una evaluación subjetiva de la cantidad de grasa o la cantidad de energía almacenada que posee una vaca, y es importante ya que cambia durante el ciclo productivo y reproductivo de las vacas lecheras, por la relación que existe entre la eficiencia reproductiva y la producción de leche (Engormix, 2015).

La evaluación de la CC en vacas es un procedimiento usado para determinar el nivel de reservas corporales independientemente del peso vivo (PV) y tamaño del animal (Waltener *et al.*, 1993). Domecq *et al.* (1997) reportaron que este procedimiento es un instrumento adecuado para estimar el correcto desempeño reproductivo en vacas, en comparación con el PV ya que es sobrevaluado por la talla del animal, el nivel de engrasamiento y llenado intestinal (Enevoldsen *et al.*, 1997), los cuales dependen paralelamente del estado de gestación y etapa de lactancia (Koenen *et al.*, 1999).

Los rasgos de producción son solo uno de los componentes de la eficiencia global de la producción del ganado lechero. Otros rasgos no productivos, como la reproducción y el PV, también son importantes ya que más del 50% de las necesidades energéticas totales de la vaca pueden atribuirse al mantenimiento del PV (ARC, 1981).

En explotaciones lecheras intensivas, la tasa de concepción al primer servicio se ve afectada por la calificación de la CC de cada animal al parto, los niveles de producción de leche, el contenido de grasa y proteína en leche, así como el número de lactaciones. No obstante, en las explotaciones en pequeña escala poseen características de funcionamiento y productivas totalmente diferentes. En general, las dietas son inadecuadas para lograr máximos rendimientos de leche y, por lo cual estas producciones se caracterizan por niveles de leche subóptimos. La mayoría de las vacas paren la época de lluvias para que la producción de la leche y las necesidades de alimentación se ajusten a las producciones estacionales de pastos; hay algunos partos fuera de este período, principalmente para los hatos que producen leche para consumo doméstico (ARC, 1981).

Davis (2005) y Prendiville *et al.* (2009) indicaron que los rasgos relacionados con las eficiencias productivas son fundamentales para la ganancia durante el periodo de lactación, ya que podría ser mayor en el ordeño si se realiza una vez al día en comparación con el ordeño tradicional de dos veces al día.

Montiel Olguin *et al.* (2019) realizaron un estudio en donde se anotaron en registros diferentes parámetros reproductivos como la fecha de parto, fecha de primer servicio y CC al parto, durante un periodo de 18 meses. Sus resultados indicaron que el porcentaje de gestación al primer servicio no es afectado por la CC al parto en las vacas con tres o más lactaciones. Por otra parte, indicaron que en vacas con una CC menor a 3.0 en su primer lactancia y vacas con una CC menor o igual que 2.5 quedaron gestantes al primer servicio, sin embargo, este resultado les pareció contradictorio; una explicación que dieron fue que las vacas de primera y

segunda lactancia con baja CC al parto fueron atendidas por primera vez más tarde en la lactancia, lo que podría aumentar la probabilidad de quedar gestantes.

No obstante, concluyeron que en vacas de primera a segunda lactancia con mayor CC al parto incrementan el porcentaje de gestación, lo cual está asociado a un menor estrés metabólico y esto ocasiona que la producción de leche sea menor, además, la baja CC también se asocia de manera negativa con la producción de leche a los 60 y 305 días (Montiel Olguin *et al.*, 2019)..

La CC de la vaca lechera debería ser óptima a lo extenso de cada fase del periodo de lactación para obtener el máximo rendimiento. Según bibliografía internacional, sugieren que vacas que ganaron CC a lo extenso del lapso seco, han logran una buena producción de leche en el primer tercio de lactación. Diferencias en un punto de calificación de CC, entre el lapso seco y en el parto por lo cual ha sido asociado con producciones de más de 500 litros en el primer tercio de lactación. Se plantea que, en los cambios en la CC a lo largo del periodo seco, al instante de secado, hay diferentes variaciones en esta. Además, que en las primeras cuatro semanas de lactancia y el largo de periodo seco poseen una mayor capacidad de producción de leche que los inconvenientes sanitarios. Un periodo seco menor a 60 días ha sido asociado de manera negativa con la producción lechera en la siguiente lactación (Domecq *et al.*, 1997).

Por lo general el estatus sanitario tiene una menor asociación con la producción lechera que con cambios en la condición corporal (Domecq *et al.*, 1997). La producción de leche se relacionada de manera positiva con el PV y la CC al parto, la CC o cambios en esta en el periodo seco y lactación temprana permanecen

asociados con rendimiento lechero (Pedron, 1993). Una óptima CC al parto (3.5 puntos) se debe lograr durante el periodo seco. Tampoco son deseables vacas con CC mayores a 4 puntos (Villaroel, 1999) debido a que económicamente no es rentable, sin embargo, además predispone a las vacas a enfermedades como cetosis, resultando en un perjuicio para la salud hepática (Gerloff, 1986), disminución del consumo (Garnsworthy *et al.*, 1982), con una tendencia a una mayor movilización de reservas corporales (Krall *et al.*, 1997), y teniendo como resultado con disminución de la producción láctea y aumento de problemas reproductivos. (Domecq *et al.*, 1997)

5.1.4. Requerimientos nutricionales en vacas lecheras

La producción bovina de leche es un complejo proceso en donde los animales tienen la posibilidad de transformar diferentes sustancias químicas y físicas de procedencia vegetal, mineral y animal, en un producto alimenticio de elevado valor biológico para el ser humano, como es la leche.

El requerimiento de nutrientes es el grupo de sustancias químicas (nutrientes; agua, energía, proteína, minerales y vitaminas), que el animal necesita para cubrir con sus necesidades simples y que le permiten conservar su equilibrio con el medio ambiente. Los requerimientos nutricionales tienen la posibilidad de clasificar en requerimientos de mantención, producción (Lanuza, 2010).

La capacidad de los animales para transformar estas sustancias fue fundamento de una persistente selección genética, una alta eficiencia de transformar los nutrientes alimenticios en producto animal. No obstante, esto ha traído, además, como resultado, más grandes exigencias orgánicas a los animales

que en varios casos, han resultado en el deterioro de la salud y reproducción perjudicando de esta forma la sustentabilidad del proceso productivo (Roche *et al.*, 2017).

A lo largo de casi un siglo, se ha aceptado que el manejo nutricional apropiado de la vaca (4 semanas antes del parto) implicaba la visión del acceso ad libitum a alimentos densos en energía. Los sistemas de formulación de las raciones están diseñados para alimentar a cada vaca para que produzca su capacidad con los mínimos trastornos metabólicos y, por lo tanto, teóricamente para maximizar el beneficio (Roche *et al.*, 2017).

Las recomendaciones para satisfacer las necesidades nutricionales de las vacas lecheras se basan en las necesidades de mantenimiento de una vaca con un peso determinado y con necesidades adicionales para la producción de leche, la gestación o ambas. Una vaca lechera puede necesitar ganar o perder peso, especialmente durante el último tercio de la lactancia, para estar en condiciones adecuadas en el momento del parto y la posterior lactancia. Un consumo elevado de energía durante el periodo seco puede provocar un aumento de peso excesivo, así como un consumo elevado de proteínas lo que puede incrementar la incidencia de enfermedades pocos días después del parto (Roche *et al.*, 2017).

La sobrealimentación durante el periodo seco en vacas lecheras que se encuentran en pastoreo y son suplementadas con ensilado no parece afectar la producción de leche en la lactación temprana, al menos cuando las vacas están en condiciones óptimas en el momento del parto. El nivel de alimentación en el periodo cercano al parto es importante, una ligera restricción en la ingesta de energía

metabolizable (EM) (10-25% de las necesidades de energía metabólica) en su alimentación tendrá un efecto benéfico en la salud del animal en la lactación temprana (Roche *et al.*, 2017).

Actualmente se sabe que las correlaciones entre peso vivo (PV) y producción de leche no han sido consistentes, debido posiblemente al tiempo de lactancia en el que las mediciones son realizadas, asociaciones genéticas entre condición corporal y peso corporal e igualmente del grado de movilización de tejidos a través de la lactancia. Por el contrario, los promedios de condición corporal durante la lactancia están correlacionados genética y fenotípicamente con rasgos de producción (Veerkamp y Brotherstone, 1997). Sin embargo, pequeñas correlaciones entre condición corporal al parto y producción han sido reportadas por Dechow *et al.* (2001), mientras que otras investigaciones enfatizan en la importancia que los cambios tanto en peso corporal como en condición corporal proceden de correlaciones con producción de leche (Enevoldsen *et al.*, 1998).

5.1.5. Etapa de lactación

Glauber (2007) menciona que la fisiología de la lactación abarca el desarrollo de la glándula mamaria desde la etapa fetal hasta la edad adulta, el desarrollo durante la preñez y el inicio de la lactancia con los consecuentes sucesos adaptativos metabólicos y de comportamiento que los animales experimentan.

Debido que la lactancia se inicia con el parto, la producción de leche depende exclusivamente de la gestación. Para ganar vida útil o productiva, la vaca es

preñada mientras está en producción. De esta manera, en algún momento del ciclo productivo, la gestación se va a superponer con la lactancia en curso hasta que la vaca entre en la etapa de secado (cese de la lactancia), esto se da en general, dos meses previos al parto y, en consecuencia, al inicio de la siguiente lactancia (Bretschneider *et al.*, 2015).

Recientemente se ha incrementado el énfasis dado al estudio de varias características reproductivas y de salud con el objetivo de obtener una reducción en los costos de producción y mejorar el bienestar animal (Olesen *et al.*, 2000). Algunos autores han evaluado las características de la curva de lactancia como persistencia, la producción máxima y la producción de leche para determinar su posible inclusión como criterios de una selección de raza para mejorar la producción (Grossman *et al.*, 1999).

A través de los años la curva de lactación ha sido descrita por medio de diferentes funciones matemáticas que explican los cambios en la producción de la leche en un tiempo determinado (Quintero *et al.*, 2007). La elaboración de estas curvas permite poder caracterizar los sistemas de producción y su aplicabilidad se puede dar de distintas prácticas de alimentación, reproducción y mejoramiento animal (Wood, 1972).

Wood, 1967 propone que el modelo más utilizado para describir los patrones de producción de leche a través de la lactancia es el que permite la estimación de diferentes coeficientes que pueden ser interpretados biológicamente.

La forma de la curva nos muestra que los porcentajes de grasa y proteína siguen una relación inversa a la curva de producción de leche. Así durante los

primeros días correspondientes al calostro, los componentes sólidos en la leche son altos, pero caen rápidamente en la misma proporción en que la producción de leche incrementa; hacia el último tercio de la lactación el incremento de sólidos vuelve a ser significativo (Silvestre *et al.*, 2009).

Existen numerosos factores que influyen en la producción de leche, grasa y proteína y que consecuentemente alteran la forma de la curva de lactancia, entre ellos los más influyentes son el número de parto, la época y año de parto (García y Holmes, 2001; Pérez *et al.*, 2007).

5.1.6. Calidad y Composición de la leche

González *et al.* (2010) mencionan que la producción de leche de calidad higiénica, como todo sistema productivo, resulta sumamente complejo, más aún que otros ya que, el producto a manejar es extremadamente delicado, afectándose mucho por la manipulación. En la producción de la leche, interactúan innumerables factores y todos de una manera u otra se encuentran relacionados.

La leche es una compleja mezcla de distintas sustancias, presentes en suspensión o emulsión y otras de forma de solución verdadera y presenta sustancias definidas: agua, grasa, proteína, lactosa, vitaminas, minerales; a las cuales se les denomina extracto seco o sólidos totales; dichos sólidos varían por múltiples factores como lo son: la raza, el tipo de alimentación, el medio ambiente y el estado sanitario de la vaca entre otros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición general de la leche en diferentes especies (por cada 100gr)

Nutriente (gr.)	Vaca	Búfala	Mujer
Agua	88.00	84.00	87.5
Energía (Kcal.)	61.00	97.00	7.00
Proteína	3.20	3.70	1.00
Grasa	3.40	6.90	4.40
Lactosa	4.70	5.20	6.90
Minerales	0.72	0.79	0.20

Wattiaux M. 2005

Estas características pueden ser la densidad, el índice crioscópico, el índice de refracción, la acidez titulable, la grasa, los sólidos no grasos, el número de leucocitos, los microorganismos patógenos, la presencia de sustancias inhibitoras, entre otros (Sedesol, 2007). Así mismo, la calidad de la leche cruda es influenciada por múltiples condiciones entre las que se destacan los factores zootécnicos, asociados al manejo, alimentación y potencial genético de los animales, así como factores relacionados a la obtención y almacenamiento de la leche recién ordeñada. Los primeros son los responsables por las características de la composición de la leche y por la productividad (Ortiz *et al.*, 2002).

Existe una relativa uniformidad en la composición de la leche, cuando se compara una vaca de la misma raza sometida a dietas semejantes. Sin embargo, los valores medios varían considerablemente entre vacas de diferentes razas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición general de la leche en diferentes razas de bovinos

Raza	Grasa	Proteína	Lactosa	Cenizas	Sng*	St**
Ayrshire	4.00	3.53	4.97	0.68	8.9	12.9
Guernsey	4.95	3.91	4.93	0.74	9.4	14.61
Holstein F.	3.40	3.32	4.87	0.68	8.86	12.26
Jersey	5.37	3.92	4.93	0.71	9.54	14.91
Suizo Pardo	4.01	3.61	5.04	0.73	9.4	12.41

*Sólidos no grasos **Sólidos totales

Margariños *et al.*, 2001

Químicamente, la leche es uno de los fluidos más completos que existen. El término “sólidos totales” se usa ampliamente para indicar todos los componentes con exclusión del agua y el de “Sólidos no grasos” cuando se excluye el agua y la grasa. El agua representa aproximadamente entre un 82% y un 82.5% de la leche, los sólidos totales alcanzan habitualmente la cifra de 12% hasta un 13% y los sólidos no grasos casi siempre están muy próximos al 9% (Paseiro, 1980).

La leche producida en los sistemas de lechería especializada presenta bajo valor nutricional. La calidad composicional de la leche proveniente de estos ecosistemas y en particular los niveles de proteína cruda de la leche se pueden considerar bajos, al compararlos con la leche obtenida en otros países o con las regiones del trópico bajo colombiano, lo que resta competitividad al sector localizado en las altiplanicies y laderas frías (Carulla *et al.*, 2004).

5.1.7. Composición de la grasa de la leche

Las grasas constituyen alrededor del 3 al 4 por ciento del contenido sólido de la leche de vaca, las proteínas aproximadamente el 3.5 por ciento y la lactosa el 5 por ciento, pero la composición química bruta de la leche de vaca varía según la

raza (FAO, 2022).

El componente de la leche que presenta mayor variabilidad es la grasa. Por lo que esta variación puede ser observada entre vacas de la misma raza que reciben diferente alimentación. En particular, el factor que más interfiere en el porcentaje de grasa en la leche es la concentración de la fibra en la dieta o la relación forraje/concentrado. Así, cuanto mayor es la concentración de fibra, mayor es la de la grasa en la leche debido, a la proporción de ácidos grasos volátiles producidos en el rumen en función de la diferencia de dietas. El uso de sustancias químicas tamponantes o alcalinizantes como el bicarbonato de sodio u óxido de magnesio, puede prevenir la caída del porcentaje de grasa en la leche de las vacas que reciben en dietas con elevada cantidad de concentrado (Harding, 1995).

La grasa de la leche puede sufrir alteraciones causadas por la acción de la luz, del oxígeno y enzimas (lipasas). Los procesos de hidrolíticos oxidativos conducen a la formación de peróxidos, aldehídos, cetonas y ácidos grasos libres, originándose así alteraciones del sabor que se hace sebáceo o rancio.

5.1.8. Ácidos grasos en la leche y sus efectos en la salud humana

La leche, por sus características nutricionales, tiene una gran importancia para el ser humano no solo por su rol alimentario, que proporciona un elevado contenido de nutrientes en relación con su contenido calórico. Hoy en día, no solo el valor nutricional, si no también otros componentes de la leche (antioxidantes y ácidos grasos) han atraído el interés por su importante relevancia en la salud humana y en el valor añadido de la leche y sus derivados. La composición la leche determina su calidad nutricional e industrial, lo que, afecta directamente la rentabilidad y

competitividad de la producción de la leche (Chilliarf *et al.*, 2007; García y Panadero, 2012). Su composición es el reflejo de múltiples factores que pueden ser o no modificados a través de diferentes prácticas.

Los ácidos grasos son los principales componentes de la grasa de la leche. La grasa es esencial en una dieta equilibrada, constituyendo la principal fuente de energía, lo que permite su almacenamiento para cubrir los requerimientos energéticos necesarios del humano (Colette y Monnier, 2011).

Los ácidos grasos de la leche de vaca se originan casi por igual de sus dos fuentes, la alimentación y la actividad bacteriana en el rumen (Mansson, 2008). En términos generales, la grasa láctea está compuesta aproximadamente por 70% de ácidos grasos saturados, 26% de ácidos grasos poliinsaturados (Jensen, 2002).

En general el contenido de ácidos grasos de la leche cambia en cantidad y calidad según tres factores: el animal, la dieta y el ambiente (Kay *et al.*, 2005; Bargo *et al.*, 2006; Morales-Almaraz *et al.*, 2011 y Hernández-Ortega *et al.*, 2014), por lo que el contenido de grasa y el perfil de ácidos grasos pueden ser un indicador de la dieta de los animales (Vicente *et al.*, 2017) y del sistema de manejo (Morales-Almaraz *et al.*, 2011).

Los antioxidantes juegan un papel importante en la protección de las células animales de los daños ocasionados por la presencia de radicales libres (McDonald, 2002). Su uso se considera un tratamiento preventivo contra el envejecimiento celular. Por lo tanto, la suplementación con antioxidantes proporcionaría un valor añadido al producto animal obtenido, ya sea leche o carne (Castillo *et al.*, 2013). La calidad de la leche también puede basarse en el contenido de antioxidantes que la

protegen mediante la reducción de la oxidación (Castillo *et al.*, 2013). Compuestos tales como carotenoides y compuestos fenólicos, son trazadores potenciales en la carne y la leche de las dietas de los animales (Prache, 2009).

La relevancia nutricional de la leche de vaca se radica en dos componentes: 1) La fracción lipídica, formada principalmente por ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados (Harvatine *et al.*, 2009), y la 2) la fracción proteica, donde se distinguen las caseínas, las proteínas del lactosuero, y las proteínas de la membrana del glóbulo graso (Swaisgood, 2003).

Las actuales tendencias nutricionales promueven una disminución en la ingesta de ácidos grasos saturados, por ejemplo, palmítico y mirístico (Bylund, 2003), y un incremento en el consumo de ácidos grasos y péptidos biológicamente activos, por ejemplo, ácido linoleico conjugado (Chinnadurai *et al.*, 2013).

5.2. Importancia de la producción pecuaria

5.2.1. Importancia de la producción pecuaria en la República Mexicana

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural menciona que la ganadería mexicana destaca por ser el onceavo productor mundial de productos pecuarios y son alrededor de 881 mil mexicanos y mexicanas que se dedican a nivel nacional a la cría y explotación de especies ganaderas. Ésta llegó a México durante la Conquista con la llegada de caballos y vacas; antes de ésta los únicos animales que se criaban de forma doméstica eran los guajolotes y el xoloitzcuintli (SADER, 2021).

La cría de animales no sólo es para el consumo de carne, sino que también se relaciona con la fabricación de quesos, cremas, mantequillas y la obtención de

leche, huevos, grasa, pieles, cera, miel y abonos. Tan sólo el año pasado, Jalisco produjo un millón 631 mil 703 toneladas de huevo (SADER, 2021).

Del mismo modo, el ganado bovino es el de mayor consumo en México por su carne, leche, y otros derivados, el país es el sexto productor mundial de carne de res siendo Veracruz el estado líder con 268 mil 281 toneladas. Por su parte, la carne de cerdo aporta a nuestro país 718 millones de dólares por las exportaciones de esta carne. Es importante resaltar que la carne de pollo es la que más se produce en nuestro país, rebasando las 3 millones 578 mil toneladas y es también Veracruz el mayor estado productor con 434 mil 283 toneladas (Imagen) (SADER, 2021).

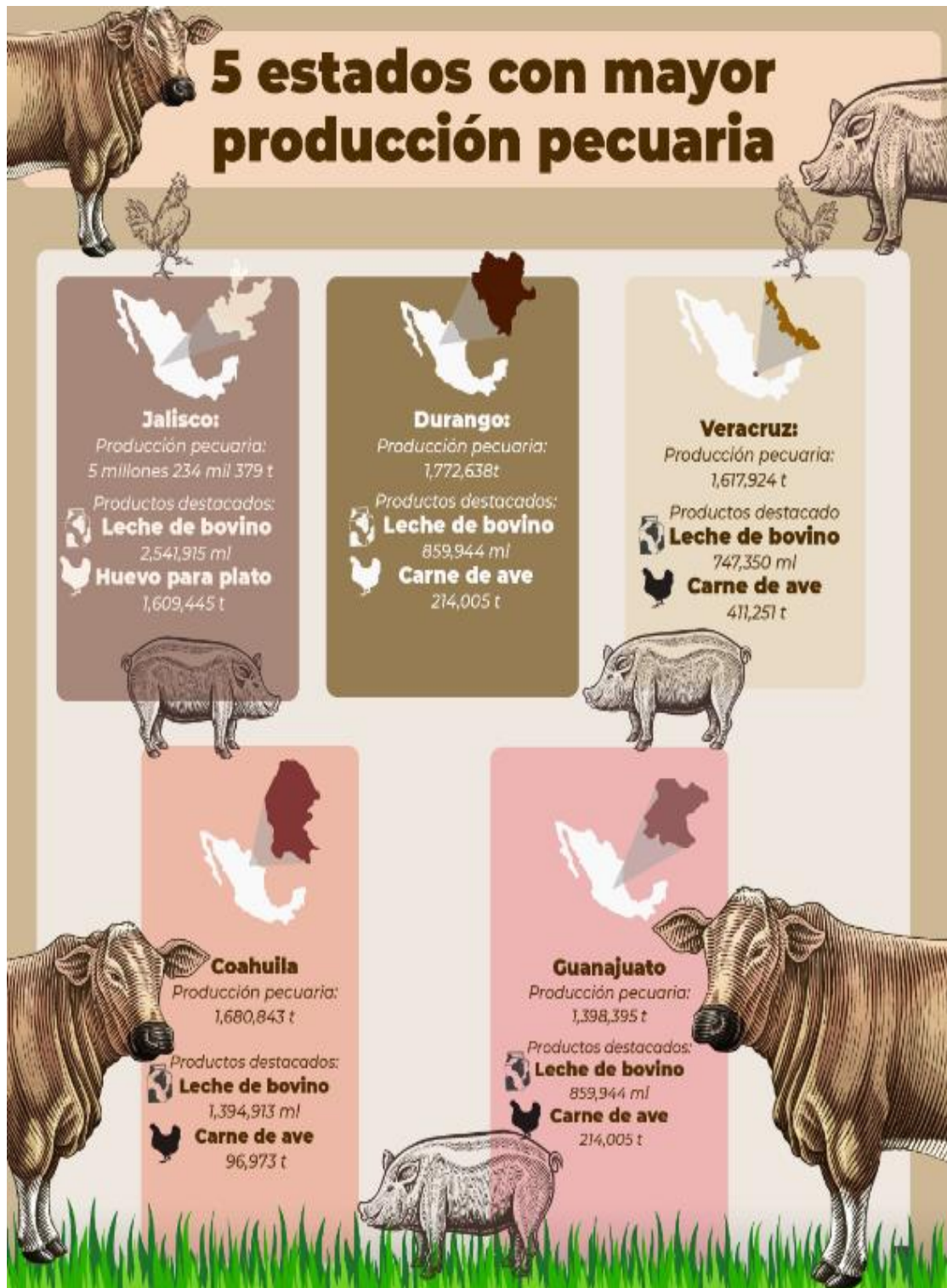


Figura 1. Producción Pecuaria en diferentes Estado de la República Mexicana (SADER, 2021).

5.2.2. Importancia de la producción pecuaria en el Estado México

La actividad pecuaria del Estado de México tiene antecedentes muy importantes en cuanto a sus costumbres y manejo de ganado entre familias en zona rurales y urbanas (Imagen); son pocos los municipios que mantienen esta vocación con altos niveles de participación como: Aculco, Acambay y Jilotepec en la zona norte; Tejupilco, Tlatlaya y Luvianos en la zona sur; Amecameca, Zumpango y Texcoco en la zona oriente.

La producción de ganado bovino en pie se ha visto afectada desde el 2014, que fue su máximo apogeo con una producción de 85,865 toneladas, para el año 2020 bajo a 78,471 toneladas de producción, teniendo un decremento de 8.6%; así como la producción de leche que en el año 2011 tuvo una producción de 482,82 miles de litros y para el año 2020 tuvo 431,194 miles de litros, teniendo un decremento del 11%.

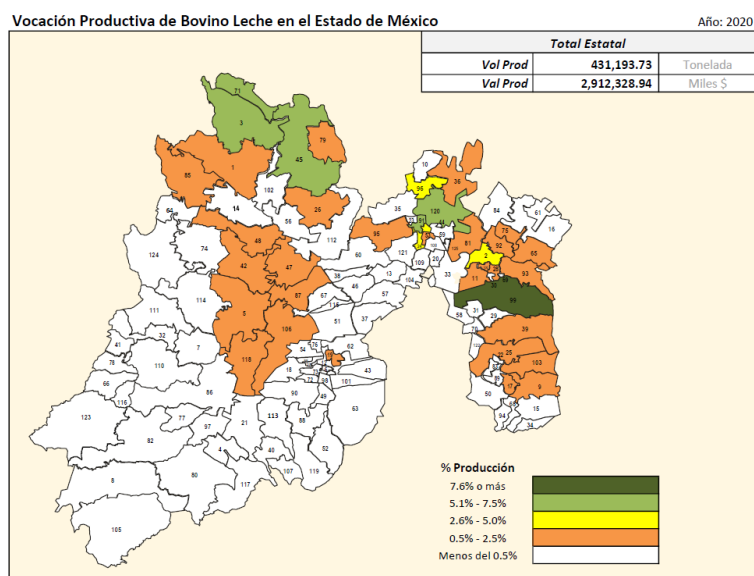


Figura 2. Producción Pecuaria en diferentes Estado de la República Mexicana (SADER, 2021).

5.2.3. Importancia Económica de la producción de leche

Estos sistemas de producción de ganadería familiar presentan similitudes en las provincias mexicanas, con ligeras diferencias debido al tipo de insumos disponibles (Bernal *et al.*, 2007; Cervantes *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2012). Para la mayoría de los productores del área de estudio la lechería familiar representa 58% de la totalidad de sus ingresos económicos, el resto lo obtiene con actividades económicas independientes en agricultura y servicios. Martínez *et al.* (2012) mencionan que su principal fuente de ingresos es la ganadería, aunque existe un 16.5% que complementa sus ingresos por medio de la agricultura, y un 6.7% a través de actividades comerciales.

El deficiente manejo del proceso de la ordeña mantiene la contaminación microbiana de la leche, incrementar el tiempo de ordeña y la transmisión de organismos patógenos que pueden causar mastitis (Ruiz *et al.*, 2011).

En sus estudios, (Hernández *et al.*, 2013) tipificaron los sistemas de producción de leche en el sur del Estado de México, reportando que 79% del ingreso total correspondió a la producción de leche. Al respecto, algunos investigadores de Latinoamérica estimaron porcentajes de 69.5% (Giorgis *et al.*, 2011) y de 78.5% (Nava *et al.*, 2009) del total de los ingresos de la venta de leche, y los restantes 30.5% y 21.5% de la venta de becerros de las mismas granjas.

(Gamboa-Mena *et al.*, 2005) y (Martínez *et al.*, 1999) mencionan que la rentabilidad representa la principal medida de eficiencia económica en los sistemas de producción, ya que evidencia cuando los ingresos superan a los gastos.

Los sistemas de producción bovina en el trópico requieren de una población ganadera resistente a las limitantes impuestas por el ambiente tropical, pero con capacidad para responder, productivamente, cuando dichas limitantes sean satisfechas y se vea reflejado en la sostenibilidad del sistema. Es palpable la tendencia de incrementar la producción lechera en el trópico por razones económicas, esto debe hacerse recurriendo al uso mínimo de insumos externos, principalmente balanceados comerciales y al uso máximo de las praderas tropicales. La continua importación de vacas inadaptadas es un camino costoso que, con toda evidencia, no resuelve el problema (Arce *et al.*, 2011).

El pasto (natural o inducido) juega un papel importante en la producción de leche ya que constituye el alimento más económico y de fácil aprovechamiento por el bovino, dada su característica de rumiante. En el trópico, los pastos contienen casi todos los nutrimentos necesarios para una adecuada alimentación y constituyen uno de los factores decisivos en la producción de leche y desarrollo del ganado de reemplazo (Arce *et al.*, 2011).

Sin embargo, para niveles altos de producción de leche es necesario compensar las diferencias entre los nutrimentos exigidos y lo aportado por el pasto. Esta situación no es muy común en el trópico, debido al potencial genético de los animales (León Velarde, 1981). La región de trópico representa el 28.31% del territorio nacional, siendo el 16.12% trópico seco y 12.19% trópico húmedo. Las explotaciones se caracterizan por poseer grandes extensiones de tierra, predominando así el sistema extensivo, donde la base de la alimentación es la producción de forraje en praderas.

Las instalaciones presentes son escasas y se limita a corrales y mangas de manejo, ubicadas en las proximidades o casa del propietario o cercano al acceso a las vías de comunicación para su transportación a los mercados locales (Magaña-Monforte *et al.*, 2006). Sin embargo, algunos factores que limitan la ganadería tropical en la mayoría de los casos son el limitado acceso a vías de comunicación, el tipo de suelo, el tamaño de la UP, la disponibilidad de la mano de obra, la capacidad económica y las actividades del ganadero e idiosincrasia de estos. Las actividades más importantes del sistema son quizá la cría y la engorda.

La producción de leche se considera como un esquilmo de estas actividades. Sin embargo, la ordeña es una actividad que cada día es más popular entre los ganaderos debido al buen mercado de la leche y sus productos y a que la venta de leche contribuye a resolver problemas de operación y mantenimiento de los ranchos, por la fluidez económica que proporciona. Bajo este enfoque, la alimentación del ganado se basa en el manejo extensivo de pastizales, principalmente mediante pastoreo y como una forma de disminuir los costos de producción (Román-Ponce, 1981).

Sin embargo, el sistema extensivo es deficiente, debido entre otros factores, a prácticas inadecuadas de pastoreo, utilización de zacates no mejorados, falta de infraestructura en los ranchos que permita distribución de los abrevaderos, potreros y áreas de manejo. Los potreros, generalmente, no se fertilizan, en forma irregular se proporciona suplementación mineral, la cual es deficiente ya que en una gran proporción es a base de sal común (Román-Ponce, 1981).

El costo del terreno, establecimiento de potreros y el ganado representan más del 80% del capital total invertido. Los gastos de operación se limitan a la mano de obra y mantenimiento de potreros. La maquinaria que se utiliza es mínima, comprende equipo de trabajo menor como son machetes, palas, picos, barras, carretillas, caballos y equipo para los mismos, algunas UP cuentan con baños garrapaticidas (Román-Ponce, 1981).

Las entidades con mayor producción del lácteo son Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato, Veracruz, Puebla, México, Aguascalientes y Chiapas, entre otros. Dentro de la cadena de la leche, en el eslabón de la industrialización, existen 130 empresas formales que procesan el 86 por ciento de la producción nacional, con un personal ocupado de 42 mil personas, además de un sinnúmero de pequeñas empresas familiares, con un valor mayor a 380 mil millones de pesos. De esta forma, en México se cuenta con un hato de bovino lechero de aproximadamente 2.49 millones de cabezas y más de 300 mil pequeños y medianos productores del lácteo (SAGARPA, 2018).

La leche de bovino es el tercer producto pecuario en importancia económica, con el 17.22% del valor nacional, sólo por detrás de la carne de bovino (30%) y la carne de ave (23%). Esta rama pecuaria genera más de 200 mil empleos directos, permanentes y remunerados, por lo que, con la producción nacional y las importaciones, el consumo nacional es de 134 litros per cápita. Asimismo, se prevé que el mercado nacional e internacional de leche mantenga su tendencia de crecimiento a largo plazo, donde habrá posibilidades de mejorar el comercio exterior (SAGARPA, 2018).

En nuestro país, informó la SAGARPA, se consolidarán los esfuerzos para aprovechar oportunidades de exportación de productos con valor agregado por lo que se prevé que en la industria procesadora de lácteos y de alimentos se seguirá necesitando importar materias primas complementarias a la producción nacional. De esta forma, la integración con los sectores primarios y el industrial (cadena productiva) será necesaria para mejorar la innovación de productos y preferencias del consumidor (SAGARPA, 2018).

Como se muestra en cuadro 3, la producción de leche de bovino en México, en 2021, fue de 12 mil 554 millones de litros, por lo que para satisfacer la demanda se calcula importar 3 mil 587 millones de litros (28.6% de la producción nacional). La oferta para el año 2021, se calcula en 16,687 millones de litros. En este caso la preocupación está tanto en la producción nacional como en las importaciones derivado de su encarecimiento por el tipo de cambio. El promedio de los últimos 11 años, indica que 6 de cada 10 litros de leche que se producen en México, se generaron en Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato. El avance de la producción 2021, muestra que al mes de enero se ha generado 7.8% de la producción estimada, para este año se calcula obtener 2.3% más que el año anterior. (SIAP, 2021)

Cuadro 3. Producciones de leche de bovino en México en 2021

Producción 2021			Comercio exterior estimado 2021			Semáforo
Estimada		Hasta febrero	Importaciones	Exportaciones		
12 mil 842 millones Litros	mil 987 millones Litros		3 mil 827 millones Litros	225 millones Litros		Verde

SIAP 2021

5.2.3.1. Resumen Nacional

Cuadro 4. Comparativo del avance mensual de la producción pecuaria
Información al mes de mayo del 2019 y 2020.

Producto/Especie	Mayo		Variación	
	2019 (A)	2020 (B)	Absoluta(B-A)	Relativa(B/A)
Leche (miles de lt)	1,020,956	1,045,056	24,100	2.4
Bovino	1,007,313	1,031,465	24,152	2.4

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

5.2.3.2. Población ganadera 2011-2020

La ganadería, proveedora de alimentos y materias primas de origen animal, constituye una de las principales actividades económicas del sector primario del país. El inventario de la población ganadera registra el número de cabezas por especie - producto en un momento determinado del año, para tener una referencia de la capacidad productiva con la que cuenta cada entidad para el periodo de producción que está por iniciar (SIAP, 2021).

El volumen de producción pecuaria del país depende tanto de la población ganadera nacional como de los parámetros productivos y reproductivos de las unidades de producción. En esta publicación, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) da a conocer la actualización del inventario ganadero nacional, a nivel estatal y con un desglose para la Región Lagunera, de las especies a las cuales da seguimiento: La población ganadera se reporta en número de cabezas, excepto en el caso de abejas dónde se registra el número de colmenas. Además, la información de bovinos y aves se desagrega por función zootécnica (SIAP, 2021).

Cuadro 5. Total, nacional de producción ganadera de bovino leche. Millones de cabezas)

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total, Nacional	2.38	2.39	2.4	2.4	2.4	2,5	2.5	2.5	2.5	2.6

(SIAP, 2021)

5.3. Situación de la industria láctea en México: producción y comercialización

La producción de leche de bovino en 2014 en México fue de 11,108.4 millones de litros, con un valor de 62,000 millones de pesos. En 2018, México se posicionó en el octavo puesto a nivel mundial, con una producción de 12.008 millones de litros. A pesar de estos datos, la producción interna en México sólo contribuye a satisfacer el 80% del consumo propio. Además, la industria láctea nacional capta el 70% de la producción nacional para generar productos de mayor valor, como leche ultra pasteurizada, queso, yogurt, crema y mantequilla. Debido a esto, México ocupa el primer lugar en el mundo en importaciones de leche en polvo (un 9% del total) (SAGARPA, 2014)

No es un caso único ya que otros países como Brasil o Venezuela compensan mediante importaciones más del 90% de déficit comercial de lácteos. Este aumento de las importaciones es una tendencia marcada en América Latina. En cambio, otros países como Argentina y Uruguay tienen el mayor superávit del continente. El 31% del PIB del país durante el año 2018 lo aportó la ganadería. México es uno de los países con menor productividad de leche por vaca del mundo, sólo superando a Brasil y a la India. La cabaña mexicana se distribuye de la siguiente manera (SAGARPA, 2007):

Total, unidades productivas de ganado bovino: 1,1 millones.

Destinado a carne: 58%

Destinado a leche y recría: 34%, y dentro de esta categoría

Leche: 40%

Carne: 32%

Carne y leche: 28%

Destinado a sementales: 8%

En México la producción de leche de vaca es muy heterogénea desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, incluyendo una gran variedad de climas y tradiciones y costumbres culturales. El 78% de la producción se concentra en 10 estados, siendo la Comarca Lagunera (Coahuila-Durango) la cuenca lechera de mayor importancia (22%). Le siguen Jalisco (19%), Chihuahua (9%) y Guanajuato (7%). Ahora bien, por regiones productoras tenemos que la región norte aporta el 32% de la producción nacional, seguida por la región occidente (29%), centro-oriente (23%), el trópico (11%) y el restante 5% se distribuye entre el resto de los estados (SIAP-SAGARPA, 2014)

Los estados del sureste, Veracruz, Chiapas, Tabasco Campeche, Quintana Roo y Yucatán, aportaron el 11% de la producción nacional, con 1,325 millones de litros en el 2018, y su crecimiento ha sido menor al promedio nacional en lo que va de siglo. Por su nivel de tecnificación, recursos disponibles y uso, calidad de la leche producida, nivel de la industria, escala y origen de la mano de obra empleada, en México hay tres sistemas de producción de leche: intensivo, familiar y tropical. La

población se distribuye de la siguiente manera: un 85% de las unidades corresponde al sistema familiar semi intensivo, un 12% al sistema tropical y un 3% al sistema intensivo. Según estudios llevados a cabo en 2017, se llegó a la conclusión de que la brecha entre la producción y la demanda interna en el sector es una oportunidad para aumentar la producción y sustituir importaciones (SIAP-SAGARPA, 2014).

5.4. Avance mensual de la producción pecuaria

Municipio: Zacazonapan

Cuadro 6. Avance mensual de la producción pecuaria en Miles de litros

Estado	Programa	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Porcentaje de Avance
México	675	44	89	130	179	228	279	41.3
Total	675	44	89	130	179	228	279	41.3

SIAP, 2021

Municipio: Temascaltepec

Cuadro 7. Avance mensual de la producción pecuaria

Estado	Programa	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
México	678	44	44	43	45	47	51	274
Total	678	44	44	43	45	47	51	274

Cifras preliminares a junio 2022. Fuente: Elaborado por el Servicio de Información

5.5. Tipos de sistemas de producción

En México se pueden identificar tres sistemas de producción de leche: el especializado, pequeña escala (o familiar) y el de doble propósito. El especializado se caracteriza por tener el mayor tamaño del hato, que se encuentra estabulado y mecanizado para el ordeño y producción de forraje. Los otros dos sistemas presentan menor tamaño del hato, entre 6 y 30 cabezas, y además utilizan cruza de las razas Holstein, suizo y Criollo, tienen menor tecnificación y predomina la

mano de obra familiar (Cervantes *et al.* 2001).

5.7. Estrategias de alimentación de vacas lecheras

5.7.1. Estrategias de alimentación en diferentes Unidades de producción

Comparando sistemas de pastoreo versus sistemas en confinamiento, el uso eficiente de la pastura para las vacas lecheras implica un menor costo de alimentación debido a que el pasto constituye la fuente de nutrientes más barata (Peyroud *et al.*, 2001). Los sistemas eficientes a base de pasto se caracterizan por una elevada producción de leche por hectárea, mientras que en sistemas en confinamiento se busca maximizar la producción por vaca (Clark *et al.*, 1998).

Una de las principales limitantes de la producción de leche en sistemas exclusivos a base de pastoreo, es el menor consumo de materia seca (Kolver *et al.*, 1998). Algunos estudios señalan que vacas exclusivamente en pastoreo pueden llegar a consumir materia seca de 3.25% (Leaver, 1985) a 3.5% del peso corporal (Mayne y Wright, 1988), siempre que no existan limitantes en cuanto a cantidad y calidad del pasto ofrecido. Con respecto a lo mencionado anteriormente, existen estudios que indican que el consumo total de MS en vacas de alta producción fue mayor cuando estas fueron alimentadas a base de pasto y concentrado; versus dietas exclusivas a base de pasto (Beuver y Thorp, 1997).

Comparado con dietas a base de pastoreo, la suplementación con concentrado aumentó el consumo total de MS en 24%, la producción de leche en 22%, el porcentaje de proteína en 4%, pero se redujo el porcentaje de grasa en 6% (Bargo, 2003).

Una mayor respuesta a la suplementación puede esperarse en vacas de mayor mérito genético debido a que más nutrientes son movilizados para producir leche y generalmente pierden más peso corporal que vacas de menor mérito genético para la producción de leche (Kellaway *et al.*, 1993)

5.7.2. *Requerimientos nutricionales de animales en pastoreo*

El objetivo de la complementación de vacas lecheras en pastoreo es incrementar el consumo total de MS y el consumo de energía para incrementar a su vez la producción láctea y evitar un balance de energía negativo (Peyraud *et al.*, 2001). Ahora bien, es de suma importancia conocer el efecto de la complementación sobre el perfil de AG y a su vez determinar el nivel adecuado de complementación, de forma que no afecte los parámetros productivos y ni la calidad nutritiva de la leche.

Los concentrados son ricos en almidón y son complementados en periodos de escases de pasto o bien para cubrir los requerimientos nutricionales que no aporta el forraje (Stockdale, 1999). Ahora bien, complementar con altos niveles de concentrado afecta los procesos de biohidrogenación como resultado del bajo pH ruminal (Latham *et al.*, 1972; Bargo *et al.*, 2006) y esto a su vez promueve cambios en la producción de AG en rumen y en glándula mamaria (Enjalber *et al.*, 2008) resultando en un incremento en la insaturación de la grasa de la leche (Kemp *et al.*, 1991). Stockdale *et al.* (2003) en vacas en pastoreo complementadas con 7 a 9 kg/día de concentrado reportan un incremento de AG de cadena corta como C6:0 a C10:0 y de cadena media como C12:0 a C16:0 con respecto a vacas no complementadas.

Los animales que pastorean son muy importantes para la agricultura. Por supuesto, ellos proveen carne, leche, y fibra. Pero los animales a pastoreo también pueden ser incorporados en una rotación de cultivos para tomar ventaja del reciclaje de nutrientes. Ellos pueden ser utilizados para controlar malezas o para cosechar residuos de cultivos. Pastorear animales también puede ser un aporte para sus ganancias, diversificando las empresas de su granja y resultando en una granja más sustentable desde el punto de vista económico (Rinehart, 2008).

En regiones tropicales, el pastoreo es la principal fuente de nutrientes para la producción de bovinos de carne. Los pastos tropicales son la base del sistema de pastoreo bovino y proporcionan sustratos energéticos de bajo costo, principalmente carbohidratos fibrosos (Oliveira, 2020). Sin embargo, sin el uso de suplementos alimenticios, estos pastos muy pocas veces cubren los requerimientos nutricionales de los animales, los cuales varían a lo largo del año. Estas deficiencias nutricionales, principalmente proteica y energética (Oliveira, 2020), ocasionan un menor rendimiento animal.

5.7.3. Recomendaciones de dietas en ganado lechero

El principal nutriente limitante en vacas alimentadas bajo condiciones de pastoreo es la energía. Esto queda de manifiesto en los resultados obtenidos por (Bargo *et al.* 2002) quienes, al comparar vacas con alto mérito genético, a las que se les proporcionaba sólo pradera de alta calidad respecto a otras que consumían una TMR, reportaron producciones lácteas de 29,6 y 44,1 kg/d, respectivamente. La diferencia entre ambos grupos fue asociada a un bajo consumo de MS (19.0 vs. 234 kg/d) y energía observada en el primero. Por otra parte, la suplementación con

concentrado a vacas mantenidas en pastoreo aumenta el consumo de MS total y la producción, en relación con vacas mantenidas a sólo pastoreo. Ambos sistemas, de igual manera, producen menos que cuando se alimenta a los animales exclusivamente con TMR.

5.7.4. Consumo voluntario

La cantidad de materia seca de forraje consumida es el factor más importante que regula la producción de rumiantes a partir de forrajes. Así, (Allison, 1985) señala que el valor de un forraje en la producción animal depende más de la cantidad consumida que de su composición química. Minson (1990) define al consumo voluntario como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando a los animales se les ofrece alimento en exceso.

El mantenimiento del animal, el aumento de peso y la producción de leche dependen en gran medida del consumo de alimentos (Bondi, 1988), el cual depende del apetito del animal, variando de acuerdo con la edad y sus diferentes estados fisiológicos (Preston y Leng, 1989), las características específicas de los alimentos, condicionada por la digestibilidad: la capacidad para suministrar los nutrientes necesarios de forma equilibrada, la eficiencia alimentaria, y las condiciones ambientales que afectan a los animales y al desarrollo de las plantas que sirven de alimento. Son varios los factores que controlan la productividad en los rumiantes, pero los dos más importantes son determinar que consumen y cuanto (Preston y Leng, 1989)

Los mecanismos de control del consumo alimenticio son altamente complejos e incluyen múltiples factores (Della *et al.*, 1984). La ingestión de alimentos ocasiona

cambios en el cuerpo, los cuales son monitoreados por el cerebro; estos cambios incluyen factores físicos y químicos en el tracto gastrointestinal y hormonas y metabolitos en el torrente sanguíneo (Forbes, 1998).

La eficiencia alimentaria en el ganado bovino está influenciada por la digestibilidad de la dieta, y otros factores ambientales, la habilidad genética y el estado fisiológico. El animal con un déficit fisiológico de algunos nutrientes se moviliza para buscar alimentos que le satisfagan (apetito) y los consume hasta sentir la sensación de saciedad. El apetito varía de un animal a otro (Preston y Leng, 1989).

En la ganadería moderna se buscan maximizar el consumo, y minimizar las pérdidas de energía, para alcanzar el máximo potencial de producción (Preston y Leng, 1989).

5.7.5. Alimentación, suplementación en pastoreo

La forma más común de suministrar un suplemento es a través del aporte de un concentrado en base a granos otorgado en parcialidades durante las ordeñas. Con esta estrategia se permite que, animales capaces de alcanzar altas producciones lácteas puedan expresar su potencial genético para consumo y producción, toda vez que la pradera, como único alimento, no es capaz de satisfacer sus requerimientos. Esto se debe a que el consumo de MS y Energía neta de lactancia (ENL) de ésta es significativamente más bajo (Delaby *et al.*, 2003; Kolver, 2003; Bargo *et al.*, 2002).

En la mayoría de las praderas en la época de primavera, los carbohidratos no

fibrosos (CNF) alcanzan entre un 15 a 22% de la MS. Además, las vacas mantenidas bajo pastoreo requieren más energía para mantención que aquellas en estabulación, debido a los menores niveles de actividad que éstas últimas presentan. Dado este hecho, las vacas en pastoreo pueden requerir de 1 a 2 kg/d de concentrado como un “costo fijo” por actividad sin un retorno concreto en producción de leche. La cantidad de CNF y de concentrado necesarios para incrementar el consumo total de energía en sistemas basados en pradera, pueden tener un efecto en el largo plazo en el balance energético, producción de leche, peso vivo, cambios en la CC y comportamiento reproductivo del animal (Muller *et al.*, 2003).

Según (Bargo *et al.*, 2003), al suplementar con concentrados fibrosos de alta digestibilidad a animales a pastoreo de altas producciones, reportaron que éstos aumentan ligeramente el consumo de MS de la pradera (0,13 kg/d), observándose, sin embargo, una gran variación entre estudios (rango 0,7 a 1,4 kg/d). Por otra parte, la producción de leche disminuye ligeramente (-0,46 kg/d) cuando los suplementos fibrosos reemplazan a aquellos con contenidos de almidón altos, existiendo nuevamente un gran rango de variabilidad (-2,6 a 1,3 kg/d).

5.5.6. Factores que influyen en el consumo de Materia Seca de vacas en pastoreo

Una producción aceptable de sólidos lácteos, en sistemas en base a pastoreo, es dependiente de altos niveles de producción de MS, debiendo ser éstos eficientemente cosechados por medio de vacas con alto mérito genético. Este objetivo es factible de alcanzar si se utilizan adecuadas cargas animales, concentrando la época de parto y haciendo coincidir los requerimientos de los animales con la curva de crecimiento de las praderas, conservando forraje y suplementando a los animales (Kolver, 2003). Los suplementos por lo general son más costosos que la pradera en sí y se utilizan principalmente durante los períodos de déficit de ésta. En el pasado los más utilizados eran los provenientes de pradera conservada (heno y ensilaje) y cultivos. Hoy en día, sin embargo, el ensilaje de maíz es usado extensamente y también subproductos de las industrias procesadoras de alimentos en general (Holmes *et al.*, 2002). El objetivo principal de la suplementación es aumentar el consumo total de MS y el consumo de energía respecto de aquellos que se pueden alcanzar con sólo pastoreo (Bargo *et al.*, 2003).

5.7.7. Efecto del pastoreo

NRC (1987); señala que los dos principales factores que influyen en el consumo por el ganado en pastoreo son: la cantidad y calidad del forraje disponible; siendo la cantidad el primer factor limitante. Asimismo, López (1984) menciona que la producción y presentación del forraje disponible para el animal en pastoreo, tiene efectos considerables bajo condiciones de pradera; pero estas variables pueden no ser importantes en pastoreo extensivo. En el agostadero, la accesibilidad del forraje, distancia del agua y los regímenes térmicos, resultan ser más importantes en

atención a las limitaciones del consumo. Por otro lado, la fertilización con nitrógeno incrementa la producción de forraje, pero no necesariamente incrementa el consumo o digestibilidad de la materia seca (Minson, 1990).

El objetivo de un buen manejo de praderas es el proveer al animal con suficiente pasto y así asegurar un buen tamaño de bocado o mordida (Minson, 1990). Sin embargo; Allison (1985) cita que no hay diferencias significativas en la producción animal entre un sistema rotacional y el pastoreo continuo. Como regla general, al incrementarse la intensidad del pastoreo, el ganado tiene menor oportunidad de seleccionar su dieta, debido a que se incrementa la velocidad de cambio de las especies y partes de las plantas preferidas.

Así, la intensidad en el pastoreo incrementa los kilogramos de carne producidos por hectárea, pero disminuye las ganancias individuales por animal. También señala que, con una alta intensidad de pastoreo, la calidad de las dietas disminuye, esto se atribuye a la reducción en la selectividad; por ende, las porciones más maduras y fibrosas de las plantas son consumidas, resultando una menor digestibilidad y contenido nutricional de la dieta (Allison, 1985)

5.8. Características socioeconómicas, productoras de unidades de doble propósito (UPDP)

En las explotaciones lecheras intensivas, hay componentes fenotípicos y genotípicos como la tasa de concepción al primer servicio, rendimiento reproductivo, que están poderosamente relacionadas a la productividad de las explotaciones lecheras debido a que son parámetros que permiten monitorear la producción de la leche, así como maximizarla.

5.9. Proteína cruda en ganadería lechera

Las vacas lecheras son rumiantes cuyos animales son considerados para obtener una buena producción láctea, para ello es de suma importancia proporcionarles una excelente alimentación y con ello, es importante una dieta estricta con requerimientos nutricionales, y así con ello obtener una producción promedio de leche dependiendo la raza, clima, número de partos, alimentación, factores genéticos y localización geográfica Villegas, (1977).

Villegas, (1977), indico que por lo regular en el valle de México se estima consideraciones para ir obteniendo costos de producción diarios únicamente claro en la producción de leche, el cual está considerando un 63% a gastos únicamente para la alimentación, un 8% para la mano de obra requerida, 9% a los costos fijos y por ende un 20% para costos variables; esto de cierta manera va a variar siempre y cuando los productores de cada granja analicen y vean desde sus perspectivas la evaluaciones que requieren para su unidad de producción, por ende es de suma importancia tener en cuenta cada uno de los datos más simples y así poder complementar los seguimientos.

5.9.1. *Metabolismo de la proteína en rumen*

Los microorganismos al morir y pasar a otros compartimentos del tracto gastrointestinal son digeridos y sus componentes, entre ellos los aminoácidos de las proteínas, absorbidos al cuerpo animal. La suplementación con concentrados tiende a disminuir el pH ruminal, debido a un incremento en la cantidad de carbohidratos de rápida fermentación en la dieta. Sin embargo, el efecto sobre el pH ruminal en animales mantenidos en pastoreo es a menudo inconsistente y se ha

reportado que, bajo condiciones pastoriles, puede no variar en respuesta al incremento de cantidades de concentrado en la dieta, lo cual ha sido estudiado y reportado desde Theurer (1986). Durante el paso de los alimentos por el rumen, gran parte de la proteína se degrada hasta péptidos por acción de las proteasas.

Los péptidos son catabolizados hasta aminoácidos libres, y éstos hasta amoníaco, ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono (A. Bondi, 1988). El amoníaco (NH_3), especialmente, es utilizado por los microorganismos si existe suficiente energía (carbohidratos), para la síntesis de proteínas y demás componentes de las células microbianas como los componentes nitrogenados de la pared celular y los ácidos nucleicos. Si bien el amoníaco es la fuente principal de nitrógeno para los microorganismos, hay especies de bacterias que obtienen un alto porcentaje (20-50 %) de su nitrógeno total a partir de aminoácidos y péptidos.

Por esto, se logra una mayor síntesis de proteína microbiana y una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno, cuando las dietas con alto contenido de NNP son suplementadas con proteína verdadera parte del amoníaco liberado en el rumen no puede ser fijado por los microorganismos, entonces se absorbe y es llevado por la sangre hasta el hígado, donde se transforma en urea, siendo la mayor parte no utilizada por el animal y excretada en la orina. Los microorganismos (bacterias y protozoos) del rumen; que contienen proteínas como componente principal, pasan al retículo-rumen, a través del omaso y abomaso, hasta el intestino delgado. La cantidad de la proteína total de la ración que se digiere en el rumen varía desde los 70-80 % o más para las proteínas más solubles, hasta el 30-40 % para las proteínas menos solubles (Bondi, 1988).

Entre el 30 % y el 80 % de la proteína de los forrajes se degrada en el rumen, la cantidad depende del tipo de alimento, del tiempo de permanencia en el rumen y del nivel de alimentación (Bondi, 1988). Las proteínas microbianas, las proteínas de los alimentos que no son degradadas y las proteínas endógenas del animal, son digeridas en el intestino delgado por proteasas y participan en el flujo de aminoácidos que son absorbidos en él. Entonces, para el aporte de los aminoácidos esenciales, los rumiantes dependen de la proteína microbiana y de la proteína de la ración que escapa a la digestión en el rumen (Astibia *et al.*, 1982).

Otros trabajos con niveles de incorporación moderados de concentrados (hasta 6 kg/d-1), concluyen que sólo permiten un pequeño cambio en la composición de los carbohidratos fermentables hablando de metabolismo, siendo esto, consecuencia de la alta cantidad de carbohidratos hidrosolubles y la alta digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) del concentrado y de la pradera suministrada disponible, (Bargo *et al.*, 2006). Se sabe que la respuesta a la suplementación es muy variable de acuerdo con las características genéticas del animal, estado de lactancia y características de la pradera y del ambiente.

Ningún aspecto de la nutrición de los rumiantes es más complejo que el del nitrógeno, tal complejidad deriva de las grandes modificaciones que los microorganismos del rumen producen sobre el nitrógeno de los alimentos desde el comienzo mismo del proceso digestivo. Esta partición de la población microbiana que precede a la digestión gástrica le otorga al animal las siguientes ventajas: el nitrógeno no proteico (NNP), tanto el componente de las dietas como el suplementario (como la urea) puede ser utilizado para formar proteína bacteriana

que luego será una de las fuentes principales de aminoácidos para el animal, las dietas groseras, con proteínas de muy baja calidad, son transformadas en proteína microbiana de mayor calidad, el nitrógeno reciclado desde la sangre, la saliva, o por difusión a través del rumen como urea o amoníaco, le permite al rumiante sobrevivir aún con muy bajos niveles de consumo de nitrógeno (Cocimano *et al.*, 1967 y Satter *et al.*, 1975).

Además, las proteínas de la dieta de alta calidad pierden parte de esa propiedad en las transformaciones a proteína bacteriana. La digestión proteica en el rumen es controlada por las proteasas de las bacterias o de los protozoarios. Se ha determinado (Hogan *et al.*, 1976). Que las proteasas son fundamentalmente intracelulares y que actúan a un pH óptimo de alrededor de 6,5. Esto sugiere, pero no prueba, que las reducciones del pH ruminal producidas por la ingestión de granos (almidón) reduciría la digestibilidad de las proteínas.

Clark y Crooket (1979) han señalado que el grado en que las proteínas verdaderas son convertidas dependerá de su solubilidad, degradabilidad y composición química. En general se acepta que por lo menos un 60% de la proteína total es degradada en el rumen, contribuyendo de esa manera a la producción de amoníaco ruminal. Esencialmente todo el NNP que entra al rumen da como producto final NH₃. La eficiente utilización del NH₃ generado en el rumen es altamente dependiente de su tasa de formación y de la tasa de multiplicación de la población microbiana. Por su parte, la tasa de reproducción microbiana depende de la tasa de formación y rendimiento total de ATP, a partir de la degradación del sustrato disponible (Hespell, 1979 y Tocar, 1982).

La situación ideal, tanto para los microbios del rumen como para el rumiante sería la que provea una cantidad de NH₃ en la forma de NNP, liberado a una tasa lo que permita la máxima multiplicación bacteriana y que provea al animal de proteína verdadera de alta calidad que escape o resista la degradación ruminal y sea absorbible a nivel de intestino delgado. La investigación en nutrición de rumiantes está realizando avances en tal sentido y este conocimiento ya ha sido adoptado por uno de los sistemas oficiales de alimentación (ARC, 1980).

5.9.2. Transformación de la proteína en el rumen

Las proteínas de los alimentos son degradadas por los microorganismos del rumen vía aminoácidos para formar amoníaco y ácidos orgánicos (ácidos grasos con cadenas múltiples). El amoníaco también viene de las fuentes de nitrógeno no-proteico en los alimentos y de la urea reciclada de la saliva y a través de la pared del rumen. Niveles demasiado bajos de amoníaco causan una escasez de nitrógeno para las bacterias y reducen la digestibilidad de los alimentos (Agronegocios, 2005). A pesar de la gran importancia del amoníaco para el crecimiento de los microorganismos del rumen, no pueden nunca utilizar completamente el amoníaco presente en el rumen, ya que existe un límite en la cantidad que pueden fijar estos microorganismos (Garriz y López, 2002).

Demasiado amoníaco en el rumen produce una pérdida de peso, toxicidad por amoníaco y en casos extremos, muerte del animal. El nivel de utilización de amoníaco para sintetizar proteína microbiana depende principalmente de la disponibilidad de energía generada por la fermentación de carbohidratos (Agronegocios, 2005; Zavala y *et al.*, 2005).

5.9.3. Síntesis de proteína

El producto final AMONIACO esta generado en primer lugar por la proteólisis y desaminación en el caso de las proteínas verdaderas, y en segundo lugar por la acción de la ureasa bacteriana en el caso de la ingesta ureica, excepto que parte de la proteína ingerida pase por el rumen sin ser atacada por los microorganismos y finalmente digerida como en los monos gástricos por las enzimas pancreáticas. Por lo tanto, la cantidad de amoníaco formado a nivel del rumen en el tiempo depende fundamentalmente de la solubilidad y de la degradabilidad de las proteínas de la dieta y de la cantidad de NNP ingerido (De Luca, 2002).

5.9.4. Degradación de proteínas a través de enzimas microbianas

A medida que las proteínas y el NNP entran al rumen son atacados por enzimas microbianas extracelulares, la mayor parte de estas enzimas son endopeptidasas parecidas a la tripsina y forman péptidos de cadena corta como sustratos terminales. Estos péptidos se originan extracelularmente y son absorbidos hacia el interior de los microorganismos. En el citosol los péptidos son degradados a aminoácidos y éstos son utilizados para la formación de proteína microbiana o son degradados todavía más para la producción de energía a través de la vía de los AGV. Para que los aminoácidos entren a esta vía, primero son desaminados para dar lugar a amoníaco y a un esqueleto carbonado (Navay Díaz, 2001).

La síntesis de proteína bacteriana puede variar entre 400 gr/día a aproximadamente 1500 gr/día según la digestibilidad de la dieta. El porcentaje de proteína bacteriana varía entre 38 y 55%; las proteínas en un forraje son degradadas a un mayor nivel (60 – 80 %) que las proteínas en concentrados o

subproductos industriales (30 – 60 %) (Wattiaux, 1998).

5.9.5. *Importancia del balance proteína / energía en la dieta*

Las vacas lecheras y los animales jóvenes en crecimiento tienen altos requerimientos y su producción depende de que cierta cantidad de proteína de la dieta pase al rumen sin degradarse, además de la fuente de proteína microbiana dependiente de la energía disponible en rumen (Garriz *et al.*, 2002). La dieta que recibe un animal puede ser de tres formas: equilibrada, hipoproteica/hipercalórico o hiperprotéica/hipocalórica. Es decir, el animal puede estar recibiendo unos niveles de energía superiores en relación con los niveles de proteína, o por el contrario puede estar recibiendo un exceso de proteína al recibir un nivel de energía insuficiente (AGQ, 2005).

Por lo anterior, un exceso o disminución del nitrógeno ureico pueden indicar un desbalance nutricional en proporción de proteína y energía de la dieta del rumiante (Pedraza y Col., 2006).

El balance energético de un animal está influenciado por su producción de leche, así pues, las vacas más productoras están en un balance negativo superior, ya que uno de los valores más determinante en el balance energético es la ingestión de energía (Gódia, 2006).

Muchos autores han estudiado y comprobado que un desbalance en el nivel de proteína cruda y energía en la dieta de las vacas lecheras afecta negativamente la reproducción. Pero en muy pocos casos estos dos nutrientes han sido considerados uno dependiente del otro, es decir, que su efecto sobre la

reproducción es producto entre la interacción entre ambos y no solamente de sus cantidades por separado (Zavala *et al.*, 2005).

Cuando el nivel de alimentación antes del parto es el adecuado, es posible formular y realizar raciones que cubran el déficit de las necesidades de la vaca en el período de lactación, debido a la existencia de un ligero balance energético negativo en las primeras semanas de lactación. Al formular las raciones, hay que tener en cuenta que la distribución de los nutrientes para las distintas funciones fisiológicas del organismo de la vaca lechera, tienen distintas prioridades. Las funciones de mantenimiento, para el funcionamiento de los órganos del animal, así como, la producción de leche, tienen prioridad sobre las funciones reproductivas. Ello quiere decir que, si los principales nutrientes necesarios para la reproducción han sido utilizados para la producción de leche, no podrán ponerse en marcha las funciones reproductivas (Godia, 2006).

En el caso de recibir un exceso de energía, este exceso se almacena como grasa produciéndose un sobre engrasamiento del animal. En el rumen la falta de proteína limita el crecimiento de la biomasa microbiana (AGQ, 2005). Cuando hay más nitrógeno que energía en la dieta se produce un desequilibrio tanto en el rumen como en el animal. Por un lado, la flora microbiana en el rumen no puede seguir creciendo por falta de energía que les permita “unir” los aminoácidos de la dieta para formar sus propias proteínas.

Las bacterias comienzan entonces a utilizar las proteínas como fuente de energía, y al hacerlo producen amoníaco; por otro, el animal también se ve afectado por una falta de energía, y al igual que la flora del rumen, utiliza el exceso de

proteína como fuente de energía, o la destruye para expulsarla de su sistema. Las proteínas del alimento se dividen en: proteína dietaria verdadera (PDV): degradable y no degradable en el rumen, y nitrógeno no proteico (NNP). La proporción de ambas depende de factores propios del alimento, del consumo, de la extensión de la digestión y de factores exógenos, como el calor, la presión, el molido, químicos, etc. El 80 % de las proteínas del maíz, cebada y trigo son glutelinas y prolaminas, ambas insolubles en el líquido ruminal, mientras que, en la avena, el 80 % es globulina, que es soluble en dicho licor (Fernández Mayer, 1998).

Solo una parte de las proteínas del alimento alcanza el intestino sin ser degradada. El resto sufre un proceso de lisis bacteriana, generalmente de tipo desaminativo, a través del cual las proteínas son transformadas en amoníaco y ácidos grasos. En menor grado se detectan también CO₂ y amidas. El amoníaco puede ser utilizado como fuente de nitrógeno por las bacterias, que quedan en condiciones de sintetizar proteínas bacterianas. Luego son arrastradas por la ingesta, y estas bacterias alcanzan el intestino y son allí digeridas, constituyendo una fuente proteica para el rumiante. Las bacterias para realizar la síntesis de proteínas requieren fuentes nitrogenadas tales como: N-amoniaco, péptidos y aminoácidos (Fernández Mayer, 1998).

La eficiencia de captación del N-amoniaco dependerá de la energía disponible. La proteína bacteriana es de alta uniformidad, se mantiene constante independientemente del régimen alimenticio a que esté sometido el animal. El amoníaco que no es utilizado por las bacterias ingresa a través de las paredes ruminales al torrente sanguíneo. En el hígado es transformado en urea, perdiendo

su carácter tóxico. La urea constituye también el producto final del metabolismo de las proteínas en el organismo, y en mono gástricos es excretada como producto catabólico especialmente por la orina. En el rumiante una parte de esa urea puede retornar al rumen, ya sea directamente a través de la pared ruminal o bien con la saliva. La urea es seguidamente hidrolizada por la flora ureolítica del rumen y transformada de este modo en amoníaco y CO₂. El amoníaco así originado, constituye una fuente adicional de nitrógeno de carácter endógeno. (Fernández Mayer, 1998).

La capacidad de los microorganismos ruminales de sintetizar proteínas a partir de nitrógeno amoniacal permite la incorporación de nitrógeno no proteico (ej. urea) en la ración como sustituto parcial de las proteínas. De lo anteriormente mencionado, se desprende que el rumiante cuenta con dos fuentes de abastecimiento proteico: las proteínas que alcanzan el duodeno sin ser degradadas y la otra la proteína proveniente de la flora microbiana del rumen. Otras fuentes de proteínas de menor importancia son las proteínas protozoarias y proteínas contenidas en las secreciones digestivas (Fernández Mayer, 1998).

Los animales en crecimiento y las vacas lecheras tienen altos requerimientos proteicos, y su producción depende en cierta medida de la cantidad de proteína de la dieta que pase el rumen sin degradarse, y de la proteína microbiana. Esta última de alto valor biológico (+ 60 %) está constituida por un perfil de AA muy completo, pero con baja proporción de algunos que son limitantes para la producción de carne y leche, como son: la metionina, treonina y la lisina. (Fernández Mayer, 1998).

5.9.6. Rumen y sus microorganismos

Los microorganismos del rumen son principalmente bacterias, protozoarios y hongos anaerobios y dependen del rumiante para disponer de las condiciones fisiológicas necesarias para su existencia. A su vez, estos microorganismos son esenciales para la digestión y fermentación de las grandes cantidades de alimentos fibrosos que consumen los rumiantes que, de otra forma, no podrían utilizar de forma eficiente. De esta manera al proporcionar un hábitat idóneo a estos microorganismos, el rumiante puede utilizar los productos finales de la fermentación microbiana y actividades biosintéticas, para cubrir sus necesidades nutritivas (Church, 1988).

El rumen es un sistema de cultivo microbiano que contiene bacterias en concentraciones de 10^8 a 10^{10} y protozoarios en concentraciones 10^4 a 10^6 por ml, según el tipo de dieta. En este organismo, la acción bacteriana hace posible la digestión de la celulosa que será fuente de energía para el animal, así mismo los forrajes y concentrados son fermentados. Los productos del metabolismo microbiano son principalmente ácidos grasos, también se producen bióxido de carbono y metano que se eliminan por el eructo, las bacterias al pasar al tubo intestinal son digeridas

y empleadas como fuentes de proteína y vitaminas (Anison *et al.*, 1966)

5.9.7. Medio ambiente ruminal

El rumen es un órgano donde se almacena parcialmente forraje y cereales entre otros alimentos consumidos por la vaca, este material mezclado con otros residuos no digeridos es mantenido a una temperatura y presión osmótica constantes. El pH se mantiene entre 6 y 7 por una acción tipo buffer, atribuida a la gran secreción de saliva que contiene elevadas proporciones de bicarbonato de sodio, potasio y urea, en segundo lugar, por la absorción de ácidos a través de la pared ruminal, los que pasaran al sistema circulatorio, en tercer lugar, por el amoniaco. Del gas producido, un 50-70% es bióxido de carbono y el 25-30 es amoniaco (Anison *et al.*, 1966).

5.9.8. Número y clases de bacterias

El número de bacterias es aproximadamente de 10 por gramo de contenido o de fluido, solo del 1-2% del microorganismo son aeróbicos, los microorganismos restantes son estrictamente anaeróbicos, existen diferentes tipos de bacterias las cuales se estarán comentando a continuación y dependen de acuerdo con la fermentación (Anison *et al.*, 1966). Digestoras de celulosa: la celulosa es biodegrada por microorganismos tales como *asteroides succinogenes*, *butivibrio fibriosovens* que existen hasta en un 15% de la flora bacteriana, estos microorganismos atacan a las partículas de las plantas y los productos son ácido fórmico, acético, succínico, butírico, metano y bióxido de carbono.

Digestoras de hemicelulosa: una gran cantidad de forraje consumido por el

rumiante contiene hemicelulosa.

Digestor de almidones

Fermentadoras de azúcar

Bacterias que utilizan ácidos

Bacterias metanogénicas

5.9.9. *Bacterias proteolíticas*

Las bacterias en el rumen rápidamente hidrolizan las proteínas de las dietas a péptidos que podrán ser catalizados a amoníaco o convertidos a proteínas microbianas. Prácticamente todas las bacterias pueden emplear amoníaco como fuente principal de nitrógeno. Si el amoníaco disponible no es empleado totalmente por las bacterias, el remanente es absorbido al torrente circulatorio, convertido a urea y excretado. Cierta cantidad de urea es retornada al rumen por la saliva donde la ureasa microbiana la convierte a amoníaco y bióxido de carbono, las bacterias en el rumen sintetizan una adecuada cantidad de vitaminas del complejo B y K, cuando la producción de leche es normal; sin embargo, hay evidencia experimental que el aporte bacteriano de niacina y otras vitaminas del complejo B, podrían no ser suficiente, sobre todo cuando las condiciones de estrés y producción son elevadas (Anison *et al.*, 1966).

5.9.10 *Protozoarios en el rumen*

Este grupo de microorganismos requieren de un medio anaeróbico y es altamente especializado. La mayoría son ciliados y algunas especies flagelados, son sensibles a un pH menor de 5,5 y pueden ser cultivadas bajo condiciones

anaeróbicas, donde podrán mantener su actividad fuera del rumen por 4 o 6 horas. En el contenido ruminal, el número de protozoarios varía entre 103 a 106 por ml de líquido ruminal, siendo mayor el número a medida que la dieta es más abundante. En dietas donde el alimento se ha molido o paletizado, el número de protozoarios ingieren carbohidratos insolubles como almidones y celulosa, posteriormente, estos microorganismos serán digeridos en el abomaso, lo que representa hasta cierto punto una fuente de energía para el huésped (Anison *et al.*, 1966).

5.10. Problemas ambientales derivado de la producción animal y de sobrealimentación con excesos de Proteína Cruda

En los últimos años se ha observado que la falta de interés de generaciones jóvenes por esta actividad condena a estas granjas a desaparecer en el mediano plazo (Álvarez *et al.*, 2004).

El nitrógeno es también uno de los elementos más abundantes de la tierra. Las formas más importantes en que se encuentra en la naturaleza son: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O), amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrógeno elemental (N_2) (Follett 2001). Este último comprende el 78% de la atmósfera terrestre, es inerte, no tiene efecto sobre la calidad del ambiente y no puede ser utilizado directamente por las plantas (Tisdale *et al.* 1993). El nitrógeno es el nutriente más ampliamente utilizado en la fertilización agrícola, ya que las formas más disponibles en el suelo son generalmente insuficientes para satisfacer los requerimientos de las cosechas y cultivos (Follett 2001; Keeney y Hatfield 2001).

Las proteínas son las macromoléculas más abundantes presentes en todas las células y en todos sus componentes. Se encuentran en gran variedad de formas,

tipos y tamaños. Exhiben además una gran diversidad de funciones biológicas. Lo curioso es que simples unidades proveen la estructura de estas importantes moléculas. Todas las proteínas, desde la más simple hasta la más compleja, están formadas por diferente número y combinaciones de un grupo de 20 aminoácidos, los cuáles poseen en su estructura al menos un átomo de nitrógeno (Nelson y Cox 2000). A la proteína de la dieta generalmente se le refiere como proteína cruda, la cual para las materias primas y alimentos se define como el contenido de nitrógeno multiplicado por 6,25; basado en la presunción de que el contenido de nitrógeno en los ingredientes es de 16 gramos por cada 100 gramos de proteína (NRC 2001).

Los requerimientos de proteína varían dramáticamente entre edades y especies. Los animales requieren proteína para mantenimiento y producción (preñez, crecimiento y lactación). Además, los microorganismos presentes en el rumen requieren también N para su crecimiento. El NRC en su última publicación (2001) incorporó la proteína metabolizable como una forma más precisa para estimar los requerimientos proteicos de los rumiantes y la define como la proteína verdadera que es digerida posterior al rumen y los aminoácidos absorbidos en el intestino (Taminga 1992).

La proteína cruda microbial sintetizada en el rumen, la proteína cruda del alimento no degradada en el rumen y la proteína cruda endógena, contribuyen al paso de la proteína metabolizable al intestino delgado, los requerimientos de proteína metabolizable para diferentes niveles de producción láctea y concentración de proteína cruda. Durante la fermentación de los alimentos en el rumen, el N suplido en exceso de lo requerido por los animales es excretado principalmente

como urea en la orina. La urea en la orina es rápidamente convertida a amoníaco por actividad de la ureasa en el medio (Taminga 1992), con las consecuencias ambientales negativas que han sido descritas anteriormente.

La cantidad de nitrógeno excretado dependerá del consumo de materia seca, la concentración proteica y la digestibilidad de la dieta. Experimentos que miden la excreción del nitrógeno con concentraciones variables de este elemento en la ración, confirman que la excreción total de nitrógeno se puede predecir bastante bien al sustraer el contenido de nitrógeno en la leche de aquel consumido en la dieta (Van Horn *et al.* 1994). Así, por ejemplo, una vaca que consume 21 kilogramos de materia seca con un contenido de proteína cruda de 16% y además produce 25 kilogramos de leche por día con 3,2% de proteína cruda, excretará 15,90 gramos de nitrógeno, basado en la siguiente ecuación:
$$N \text{ excretado (g/d)} = (\text{kg MS} \times \% \text{ PC} \times 6,25) - 100 (\text{kg leche} \times \% \text{ PCL} \times 6,38) / 100$$
 Donde: N excretado: Nitrógeno total excretado en heces y orina (g/día).

Kg MS; es la cantidad de materia seca consumida (kg/día). % PC; Porcentaje de proteína cruda en la dieta. % PCL: Porcentaje de proteína cruda en la leche. A 6,38: El contenido de nitrógeno en la leche es de aproximadamente 15,67 gramos por cada 100 gramos de proteína (Moorby *et al.*, 1999). Además de los efectos ambientales negativos, otro problema concerniente con el exceso de nitrógeno en el ganado de leche es el relacionado con aspectos reproductivos. (Jordan *et al.*, 1983) por ejemplo, observaron que la viabilidad del óvulo y los espermatozoides se redujo cuando se daban excesos de proteína en la dieta. Por otra parte, diversos estudios han reportado bajas tasas de concepción en vacas con altos niveles de

urea en la sangre (Elrod y Butler 1993; Ferguson *et al.* 1993; Butler *et al.* 1995).
Roseler *et al.* (1993)

Determinaron que la concentración de urea en la leche es proporcional a la concentración de urea en la sangre, por lo que un alto nivel de urea en la leche será indicativo de que los animales están siendo alimentados con niveles excesivos de proteína y por lo tanto la concentración de nitrógeno en heces y orina será mayor que aquel cuando se ofrecen dietas con niveles adecuados de este nutriente.

Estrategias para reducir la excreción de nitrógeno La conservación de nitrógeno en la producción animal debe comenzar mejorando la eficiencia en la utilización de nitrógeno por parte de los animales. Si se considera que solamente de 20 a 30% del nitrógeno en la dieta es incorporado al nitrógeno de la leche (Moorby y Theobald 1999), la primera estrategia para reducir la excreción de N es eliminar la proteína dietaria en exceso de los requerimientos (Wu *et al.* 2001).

Mulligan *et al.* (2004) observaron relaciones lineales positivas significativas entre el consumo de nitrógeno y el nitrógeno excretado en orina, heces y leche como se muestra en la figura (Figura 3).

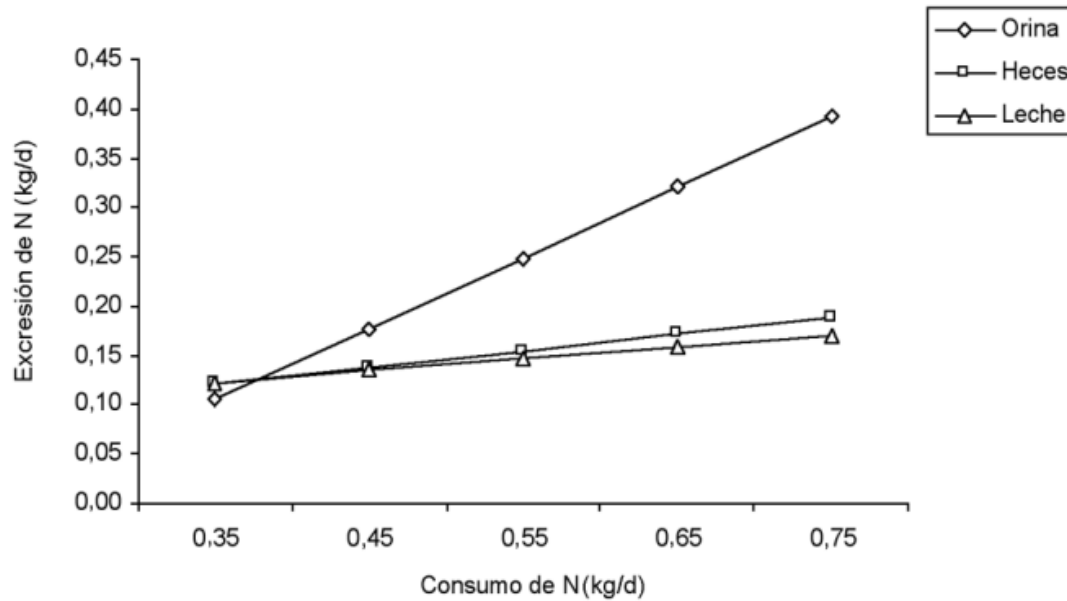


Figura 3. Patrón de excreción de nitrógeno en orina, heces y leche al variar el consumo de nitrógeno

(Mulligan *et al.* 2004).

Igualmente, Wu y Satter (2000) demostraron que, al reducir el contenido proteico de la ración, se redujo la excreción total y urinaria de nitrógeno. La segunda estrategia inmediata en mejorar la productividad animal. Conforme se produce más leche por animal, los requerimientos de proteína para mantenimiento se diluyen, es decir, la leche se puede producir con menor cantidad de nitrógeno consumido, excretado (Rotz, 2004). Otros estudios han investigado una serie de aditivos y estrategias alimenticias para reducir la volatilización de amoníaco (McCrary *et al.*, 2001). De acuerdo con su modo de acción, dichos aditivos se pueden clasificar en: digestivos, acidificantes, adsorbentes, inhibidores de ureasa y saponinas. En un ensayo Lefcourt y Meisinger (2001) determinaron que la adición de 6,25% de zeolita (un tipo de material parental) o 2,5% de alum (Sulfato de aluminio; actúa como agente acidificante y agente ligante de P) al estiércol de ganado bovino, redujo la

emisión de amoníaco en 50 y 60% respectivamente.

El tratamiento con alum disminuyó la emisión de amoníaco al reducir el pH del estiércol a 5 o menos, mientras que la zeolita, siendo un medio de intercambio catiónico, adsorbió el amonio y redujo la concentración de éste en disolución. En otro ensayo, Varel *et al.* (1999) concluyeron que el uso de inhibidores de ureasa controla las emisiones de amoníaco del estiércol bovino y que por lo tanto el uso de estos compuestos ayuda a prevenir el deterioro ambiental causado por este gas. Por su parte, Burkholder *et al.* (2004) encontraron que alterando la fuente de almidones de la dieta para mejorar la digestibilidad de los nutrientes se podría reducir la excreción de nitrógeno en el estiércol y por lo tanto la emisión de amoníaco.

5.10.1 Desperdicios de nitrógeno en la producción de ganado lechero

Según (Steinfeld *et al.*, 2009), la eficiencia del ganado para asimilar nitrógeno es aún más baja que la eficiencia de los cultivos. Hay dos diferencias fundamentales en el uso del nitrógeno en la producción animal y en la producción de cultivos: La eficiencia de la asimilación en su conjunto es mucho más baja en la producción animal, el desperdicio inducido por el uso de insumos no óptimos es generalmente más bajo en la producción animal. El nitrógeno entra en el ganado a través de las dietas. Las dietas pueden contener entre 10 a 40 g de N/ Kg de materia seca. Un estudio realizado por (Smil, 2002) en Estados Unidos, calculó la eficiencia de la conversión de proteínas del ganado lechero y obtuvo un resultado de 40%, lo cual, considerando su población animal, representa una excreción cercana a 75 millones

de toneladas de nitrógeno.

La proteína suministrada en la dieta puede ser fermentada o escapar de la digestión ruminal, a esta proteína que pasa al intestino sin sufrir transformaciones en el rumen, se le denomina proteína de sobrepaso o escape. Si la proteína es fermentada en el rumen, puede ser transformada a aminoácidos o a amoníaco por acción de las enzimas microbianas. Así como también el nitrógeno no proteico puede ser desdoblado en amoníaco. De aquí que radique la importancia de mejorar la digestibilidad de la proteína para reducir el potencial contaminante desde el inicio (Shimada, 2009).

La proteína ingerida por la vaca lechera en parte es utilizada para el mantenimiento y crecimiento, y en parte es secretada en la leche, excretándose el resto en el estiércol en forma de nitrógeno orgánico. La concentración de nitrógeno orgánico en el estiércol del ganado lechero varía ligeramente de la concentración suministrada en la ración. Esto quiere decir que, una parte del nitrógeno se fija en la carne y la leche, y la otra se encuentra presente en la orina y el estiércol. Cuando la orina entra en contacto con el aire, parte del nitrógeno se desprende como NH_3 . En las granjas lecheras, el NH_3 se emite a partir de alojamientos de las vacas, de los depósitos de estiércol y cuando se aplica estiércol a la tierra, si las vacas se mantienen en hacinamientos, o de las deposiciones de orina si las vacas están en sistemas de pastoreo (Phillips, 1996).

El nitrógeno orgánico y el nitrógeno mineral no emitidos en forma de NH_3 los recibe el suelo cuando se utilizan en parte para cultivar. El nitrógeno remanente se pierde por desnitrificación y lixiviados, o bien, se incorpora al nitrógeno orgánico del suelo. Las pérdidas de nitrógeno en el estiércol están 20 estrechamente

relacionadas con el nivel de proteína ingerida con el alimento (Phillips, 1996).

Las principales estrategias que de acuerdo con el protocolo de Kyoto, publicado por la ONU (1998), permiten reducir las emisiones de NH₃, aunque a diferentes costos que pueden ser asumidos o no por el sector son: nutrición animal, diseño de las granjas, gestión y sistemas de tratamiento del estiércol, sistemas de aplicación de estiércol en campo. Calvet (2015) menciona que la estrategia más recomendada es el manejo de una adecuada nutrición animal, reduciendo el exceso de proteína en la dieta se consigue reducir el nitrógeno excretado en la orina, lo que implica una menor emisión de NH₃.

Así como también modificar los niveles de fibras o grasas ayuda a reducir la excreción de nitrógeno. Existen múltiples factores que condicionan la emisión por volatilización del amoníaco en un establo: porcentaje de proteína en la dieta, edad de la vaca, etapa productiva, densidad de animales por corral, tipo de cama, ventilación, condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire), características del estiércol (temperatura, pH, materia seca), tipo de almacenamiento (superficie expuesta) y condiciones durante la aplicación (Coma *et al.*, 2004).

Actualmente se ha visto una gran oportunidad para el aprovechamiento de las excretas como una fuente de energía renovable, por su uso para la producción de biogás, que puede ser utilizado para generar energía eléctrica o térmica. Por lo que muchas unidades de producción han incorporado sistemas de indigestión dentro de sus procesos productivos, en un principio con el fin de comercializar los Bonos de Carbono, por la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

(UNAM, 2009).

Se ha visualizado una diversidad de usos y aplicaciones de estos sistemas, tales como la reducción de contaminantes en las descargas de aguas residuales de las unidades pecuarias y la generación de energía eléctrica. El sistema de biodigestor anaeróbico consiste en un proceso centralizado de manejo de excretas, las cuales son enviadas a un biodigestor, con un sistema de agitación y remoción de lodos, una laguna secundaria, un sistema de recolección, conducción y utilización del biogás para su quemado o para la generación de energía eléctrica y un quemador (UNAM, 2009)

5.10.2. Importancia de los niveles de nitrógeno ureico como indicadores de la nutrición

La relación de la utilización de las proteínas degradables en el rumen y las no degradables o pasantes constituye el origen de la producción de amoníaco que es transformado en urea por el hígado, la cual circula en sangre y es parcialmente excretada en la leche. La decodificación del amoníaco constituye una pérdida de energía para la vaca lechera que limita la producción de leche. El metabolismo del nitrógeno en los rumiantes involucra la participación de la microflora y la utilización de los productos de degradación de las proteínas para la síntesis de proteína bacteriana. La utilización de elevadas fuentes de nitrógeno, proteico y no proteico en la alimentación de vacas lecheras incide sobre la condición de glándula mamaria aumentando los contajes de células somáticas y la incidencia de mastitis. Valores fuera de los considerados como normales indican desbalances nutricionales que pueden tener importante significancia económica y productiva (Arias y Nesti de

Alonso, 1999).

La eficiencia de la alimentación proteínica es maximizada cuando el nitrógeno suplementado en la dieta coincide con el nitrógeno requerido por los microorganismos y los tejidos del rumen. Este balance es asociado con una concentración baja de urea en plasma y leche (Baker *et al.*, 1995).

El nitrógeno ureico en sangre (NUS) y leche (NUL), son muy utilizados como indicadores del metabolismo y estatus proteico en vacas (Zegarra y Col, 2000). Según Dieste y Olivera (2004) para utilizar NUL como indicador del nivel nutricional de las vacas, se sugiere el uso de NUL en el tanque como índice de la precisión en la relación proteína/energía en las dietas para ganado de alto nivel. La relación entre la concentración de urea en leche y la proteína/energía dada ($R=0.96$) es mayor que la urea en leche para cada componente individual ($r=0.56$ y $r=0.56$) para proteína y energía dada.

Esto supone la importancia de la relación P/E en la dieta para el contenido de urea en leche, según las investigaciones de Dieste y Oliveira (1994) Se reportó en 1995 que los valores de NUL están entre 83 y 98% del valor NUS, sugiriendo dividir el valor NUL por 0.85 para obtener el equivalente en NUS. 9.10.2. La urea en el organismo animal

En las explotaciones lecheras intensivas, hay componentes fenotípicos y genotípicos como la tasa de concepción al primer servicio, rendimiento reproductivo, que están poderosamente relacionadas a la productividad de las explotaciones lecheras debido a que son parámetros que permiten monitorear la producción de la leche, así como maximizarla.

5.10.3. La urea en el organismo animal

La urea es una pequeña molécula orgánica compuesta por Carbono (C), Nitrógeno(N), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H); es sumamente soluble. Es el constituyente común de la sangre y otros fluidos corporales (Acosta y Delucchi, 2002).

Se forma del amoníaco en el riñón e hígado, que se produce por la descomposición de las proteínas durante el catabolismo. Mientras que el amoníaco producido es sumamente tóxico la urea no, y puede estar en altos niveles sin causar alteraciones, a tal punto que si no se produjera su conversión a urea ocurriría una intoxicación severa. La conversión de amoníaco a urea, primariamente en el hígado, previene la toxicidad del amoníaco siendo excretada por orina (Ferguson, 2002).

5.10.4. Urea en leche

Durante la lactancia, la glándula mamaria tiene una alta prioridad para utilizar aminoácidos. El metabolismo de aminoácidos en la glándula mamaria es sumamente complejo. Aminoácidos pueden ser convertidos a otros aminoácidos u oxidado para producir energía. La mayoría de los aminoácidos absorbidos por la glándula mamaria es utilizada para sintetizar proteínas de leche. La leche contiene aproximadamente 30g de proteína por kg., pero hay diferencias importantes entre razas y dentro la misma raza de vacas. La proteína principal en la leche es caseína y esta forma 90% de la proteína en la leche. Las proteínas de suero de leche también son sintetizadas de aminoácidos en la glándula mamaria. La leche contiene complejos de nitrógeno no-proteínico en cantidades muy pequeñas (por ejemplo, urea: 0.08 g/kg) (Agronegocios, 2005).

El contenido total de proteína en la dieta, combinado con las bajas concentraciones de energía son los responsables principales del contenido de urea en leche (Acosta *et al.*, 2006).

5.10.5. Rangos de Nitrógeno Ureico en Leche

Un rango de NUL de 12 a 18 mg / dl es un valor apropiado cuando se evalúa a un grupo de vacas y de 8 a 25 mg / dl cuando es de forma individual. Valores de NUL menores a 12 mg / dl se consideran bajos, lo que indicaría un bajo contenido de proteína degradable de los alimentos en comparación a la disponibilidad ruminal de energía lo que tiene como consecuencia una menor eficiencia en utilización y consumo de alimento lo que a su vez afecta producción de leche. Por otro lado, se pueden considerar niveles altos valores superiores a 25 mg / dl de leche (Calberry, 2002).

Niveles superiores a 25 mg / 100 ml de leche pueden originar:

- Alto costo de ración debido a un exceso de proteína
- Pérdida de energía debido a que la vaca requiere energía para convertir amonio a urea el que luego se excreta en la orina.
- Problemas de fertilidad
- Estos problemas podrían producirse por:
- Proteína cruda soluble en el rumen es demasiado alta.
- Los niveles de proteína soluble en relación con carbohidratos no fibrosos en los alimentos no son apropiados (Gómez y Fernández, 2002).

Cuando la concentración de NUL está debajo de este nivel, una proteína más

degradable puede ser necesaria para resolver el requisito microbiano de nitrógeno para la síntesis de proteína. Las vacas responderán con una producción más alta de la leche a este cambio dietético (Calberry, 2002).

5.10.6. Análisis de NUL como indicador de balance de energía proteica

El nitrógeno ureico de la leche (NUL), ha sido utilizado como herramienta diagnóstica de la eficiencia de utilización del nitrógeno y de ciertos trastornos del comportamiento reproductivo de la vaca lechera. El NUL es el resultado de la difusión del contenido de urea del suero sanguíneo a través de las células secretoras de la glándula mamaria, constituyendo una fracción variable del nitrógeno total de la leche. Su contenido representa alrededor del 50% del nitrógeno no proteico y alrededor del 2.5% del nitrógeno total (DePeters y Ferguson, 1992).

El NUL es una fracción variable del nitrógeno no proteico de la leche que puede estar entre el 12 y el 17% (Roseler *et al.*, 1993). La proporción de NUL con otros componentes nitrogenados de la leche no es constante. El nitrógeno presente en la leche consta de tres fracciones principales: caseína, que constituye el 77.9%, nitrógeno de la proteína del suero, que representa el 17.2%, y nitrógeno no proteico, que es el 4.9 %, Cerbulis y Farell, (1975). Estas fracciones pueden cambiar de acuerdo con la temperatura, enfermedades, número de partos, días en lactancia y nutrición (De Peters y Cant, 1992).

Las dietas de alto contenido proteico tienden a presentar niveles altos de NUL debido, por una parte, a mayor degradación de la proteína en el rumen, mayor producción de amoníaco y mayor conversión de amoníaco a urea en el hígado de la vaca; y en segunda, la dieta de un nivel alto de proteína tiene normalmente una alta contribución de aminoácidos para absorción en el intestino (Astibia *et al.*, 1982). Debido al rápido equilibrio de la urea en los fluidos orgánicos, la concentración de urea en leche se ha tomado como un índice de la ineficiencia de utilización del nitrógeno (Baker *et al.*, 1995).

La preocupación por las cantidades de nitrógeno incluidas en dietas para vacas lecheras no es reciente, publicaciones de diferentes partes del mundo: Lewis *et al.* (1957); Kaufmann *et al.* (1982); Oltner y Wiktorsson, (1983); Hof *et al.* (1997); Lykos *et al.* (1997); Wright *et al.* (1998); García Bojalil *et al.* (1998), y Wattiaux; han mostrado relaciones entre los contenidos de urea en la leche y los niveles de proteína en la dieta, nivel energético de la ración o relaciones de proteína y energía. Hof *et al.*, (1997) reportaron contenidos promedios de NUL de 12.6 mg/dl en un ensayo con 125 vacas que consumieron 13 raciones balanceadas con diferentes relaciones de proteína y energía.

Los valores por tratamiento oscilaron entre 9 y 18.3 mg/dl. Encontraron una alta correlación ($r^2 = 0.82$) entre el escape de N del rumen y el contenido de NUL en la leche. El valor promedio de pérdida de nitrógeno estuvo significativamente correlacionado con el valor promedio de NUL ($r = 0.96$), y recomiendan la validez de la determinación de urea en leche como índice para evaluar la eficiencia de utilización del nitrógeno en vacas lecheras. Ferguson y Chalupa, (1989), relacionan

problemas reproductivos de los hatos lecheros como bajas tasas de concepción, repetición de celos, aumentos en los días abiertos y en los servicios por concepción, con altos niveles de nitrógeno de la dieta. La alteración reproductiva puede ser causada por la urea, el amoníaco u otros compuestos nitrogenados no identificados que pueden afectar el óvulo, el espermatozoide o los embriones jóvenes. La urea se ha demostrado tóxica para el espermatozoide y el óvulo (Fordvey-Lettlage, 1975).

Las concentraciones máximas y mínimas deseables de NUL varían de acuerdo con el criterio de diferentes investigadores. Harris en 1995 sugiere niveles máximos de 18 mg/dl y mínimos de 12 mg/dl. Roseler *et al.*, (1993) sugiere valores de 15 mg/dl. Hutjens (1997), recomienda niveles inferiores a 20 mg/dl en el hato para evitar problemas reproductivos.

La determinación de NUL en forma estratégica permite medir, junto con otros indicadores como los cambios de peso corporal y la condición corporal de las vacas, la eficiencia de utilización del alimento. En rumiantes sanos, los niveles de NUL son indicadores de una relación de energía - proteína (Hammond, 1997).

La aplicación más común del NUL es el análisis de la respuesta biológica (tanto productiva como reproductiva) a la suplementación, al manejo de forrajes, y a la calidad de los éstos; Otra aplicación es el diagnóstico de situaciones puntuales para recomendar estrategias de alimentación; así mismo, la protección del medio ambiente, por los efectos que el nitrógeno residual tiene sobre el agua y los suelos, (Roseler *et al.*, 1993).

Cuadro 8. Análisis de NUL (mg/dl)

Análisis de NUL como indicador del balance energía-proteína en la dieta de vacas lecheras. NUL (mg/dl)	Clasificación	Interpretación
Menor que 9	Deficiente	Insuficiente aporte de proteína degradable en relación con la disponibilidad de energía
Entre 9 y 12	Bueno	Buen uso del nitrógeno
Entre 12 y 15	Excelente	Nivel óptimo para la producción y reproducción
Entre 15 y 18	Bueno	Subutilización de nitrógeno
Entre 18 y 21	Excesivo	Puede afectar la reproducción
Mayor que 21	Excesivo	Afecta la reproducción

Peña Castellanos (2002).

5.10.6. Factores que influyen en los niveles de NUL

Todos los factores que afectan la concentración de urea en sangre tienen influencia sobre la concentración de urea en leche (Acosta y Delucchi, 2002).

Se ha observado variación en los niveles de NUL debido a la composición de la dieta que consume la vaca, a la hora del día que se toma la muestra, al tiempo transcurrido luego de comer. La concentración de NUL varía con la cantidad de proteína en la dieta, cantidad de orina excretada, cantidad de agua bebida y días de

lactancia. Para interpretar el valor de NUL se necesita información sobre raza, número de pariciones, días de lactancia, estación del año, manejo nutricional, porque son factores que pueden influir en su concentración (Dieste y Olivera, 2004; Peña, 2002; Acosta y Col, 2006)

Si se usa la urea en leche como indicador de la nutrición proteica del animal debe tenerse en cuenta que las primíparas suelen presentar concentraciones de urea inferior a los animales adultos. Además, existe una estacionalidad en las concentraciones de urea en leche, siendo superiores en los meses de julio a septiembre (verano) (Bach, 2004).

5.11. Estrategias para reducir las excreciones de nitrógeno al medio ambiente

En los últimos años se ha observado que la falta de interés de generaciones jóvenes por esta actividad condena a estas granjas a desaparecer en el mediano plazo (Álvarez *et al.*, 2004).

El nitrógeno es también uno de los elementos más abundantes de la tierra. Las formas más importantes en que se encuentra en la naturaleza son: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O), amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y nitrógeno elemental (N_2) (Follett 2001). Este último comprende el 78% de la atmósfera terrestre, es inerte, no tiene efecto sobre la calidad del ambiente y no puede ser utilizado directamente por las plantas (Tisdale *et al.* 1993). El nitrógeno es el nutriente más ampliamente utilizado en la fertilización agrícola, ya que las formas más disponibles en el suelo son generalmente insuficientes para satisfacer los requerimientos de las cosechas y cultivos (Follett 2001; Keeney y Hatfield 2001).

Las proteínas son las macromoléculas más abundantes presentes en todas las células y en todos sus componentes. Se encuentran en gran variedad de formas, tipos y tamaños. Exhiben además una gran diversidad de funciones biológicas. Lo curioso es que simples unidades proveen la estructura de estas importantes moléculas. Todas las proteínas, desde la más simple hasta la más compleja, están formadas por diferente número y combinaciones de un grupo de 20 aminoácidos, los cuáles poseen en su estructura al menos un átomo de nitrógeno (Nelson y Cox 2000). A la proteína de la dieta generalmente se le refiere como proteína cruda, la cual para las materias primas y alimentos se define como el contenido de nitrógeno multiplicado por 6,25; basado en la presunción de que el contenido de nitrógeno en los ingredientes es de 16 gramos por cada 100 gramos de proteína (NRC 2001).

Los requerimientos de proteína varían dramáticamente entre edades y especies. Los animales requieren proteína para mantenimiento y producción (preñez, crecimiento y lactación). Además, los microorganismos presentes en el rumen requieren también N para su crecimiento. El NRC en su última publicación (2001) incorporó la proteína metabolizable como una forma más precisa para estimar los requerimientos proteicos de los rumiantes y la define como la proteína verdadera que es digerida posterior al rumen y los aminoácidos absorbidos en el intestino (Taminga, 1992).

La proteína cruda microbial sintetizada en el rumen, la proteína cruda del alimento no degradada en el rumen y la proteína cruda endógena, contribuyen al paso de la proteína metabolizable al intestino delgado, los requerimientos de proteína metabolizable para diferentes niveles de producción láctea y concentración

de proteína cruda. Durante la fermentación de los alimentos en el rumen, el N suplido en exceso de lo requerido por los animales es excretado principalmente como urea en la orina. La urea en la orina es rápidamente convertida a amoníaco por actividad de la ureasa en el medio (Taminga 1992), con las consecuencias ambientales negativas que han sido descritas anteriormente.

La cantidad de nitrógeno excretado dependerá del consumo de materia seca, la concentración proteica y la digestibilidad de la dieta. Experimentos que miden la excreción del nitrógeno con concentraciones variables de este elemento en la ración, confirman que la excreción total de nitrógeno se puede predecir bastante bien al sustraer el contenido de nitrógeno en la leche de aquel consumido en la dieta (Van Horn *et al.* 1994). Así, por ejemplo, una vaca que consume 21 kilogramos de materia seca con un contenido de proteína cruda de 16% y además produce 25 kilogramos de leche por día con 3,2% de proteína cruda, excretará 15,90 gramos de nitrógeno, basado en la siguiente ecuación:
$$N \text{ excretado (g/d)} = (\text{kg MS} \times \% \text{ PC} \times 6,25) - 100 (\text{kg leche} \times \% \text{ PCL} \times 6,38) / 100$$
 Donde: N excretado: Nitrógeno total excretado en heces y orina (g/día).

Kg MS: Cantidad de materia seca consumida (kg/día). % PC: Porcentaje de proteína cruda en la dieta. % PCL: Porcentaje de proteína cruda en la leche. A 6.38: El contenido de nitrógeno en la leche es de aproximadamente 15.67 gramos por cada 100 gramos de proteína (Moorby y Theobald 1999). Además de los efectos ambientales negativos, otro problema concerniente con el exceso de nitrógeno en el ganado de leche es el relacionado con aspectos reproductivos. Jordan *et al.* (1983) por ejemplo, observaron que la viabilidad del óvulo y los espermatozoides se

redujo cuando se daban excesos de proteína en la dieta. Por otra parte, diversos estudios han reportado bajas tasas de concepción en vacas con altos niveles de urea en la sangre (Elrod y Butler 1993; Ferguson *et al.* 1993; Butler *et al.* 1995). Roseler *et al.* (1993).

Determinaron que la concentración de urea en la leche es proporcional a la concentración de urea en la sangre, por lo que un alto nivel de urea en la leche será indicativo de que los animales están siendo alimentados con niveles excesivos de proteína y por lo tanto la concentración de nitrógeno en heces y orina será mayor que aquel cuando se ofrecen dietas con niveles adecuados de este nutriente. Estrategias para reducir la excreción de nitrógeno La conservación de nitrógeno en la producción animal debe comenzar mejorando la eficiencia en la utilización de nitrógeno por parte de los animales. Si se considera que solamente de 20 a 30% del nitrógeno en la dieta es incorporado al nitrógeno de la leche (Moorby y Theobald 1999), la primera estrategia para reducir la excreción de N es eliminar la proteína dietaria en exceso de los requerimientos (Wu *et al.* 2001).

Mulligan *et al.* (2004) observaron relaciones lineales positivas significativas entre el consumo de nitrógeno y el nitrógeno excretado en orina, heces y leche

Igualmente, Wu y Satter (2000) demostraron que, al reducir el contenido proteico de la ración, se redujo la excreción total y urinaria de nitrógeno. La segunda estrategia inmediata en mejorar la productividad animal. Conforme se produce más leche por animal, los requerimientos de proteína para mantenimiento se diluyen, es decir, la leche se puede producir con menor cantidad de nitrógeno consumido y excretado (Rotz 2004). Otros estudios han investigado una serie de aditivos y

estrategias alimenticias para reducir la volatilización de amoníaco (McCrorry y Hobbs 2001). De acuerdo con su modo de acción, dichos aditivos se pueden clasificar en: digestivos, acidificantes, adsorbentes, inhibidores de ureasa y saponinas. En un ensayo Lefcourt y Meisinger (2001) determinaron que la adición de 6,25% de zeolita (un tipo de material parental) o 2,5% de alum (Sulfato de aluminio; actúa como agente acidificante y agente ligante de P) al estiércol de ganado bovino, redujo la emisión de amoníaco en 50 y 60% respectivamente.

El tratamiento con alum disminuyó la emisión de amoníaco al reducir el pH del estiércol a 5 o menos, mientras que la zeolita, siendo un medio de intercambio catiónico, adsorbió el amonio y redujo la concentración de éste en disolución. En otro ensayo, Varel *et al.* (1999) concluyeron que el uso de inhibidores de ureasa controla las emisiones de amoníaco del estiércol bovino y que por lo tanto el uso de estos compuestos ayuda a prevenir el deterioro ambiental causado por este gas. Por su parte, Burkholder *et al.* (2004) encontraron que alterando la fuente de almidones de la dieta para mejorar la digestibilidad de los nutrientes se podría reducir la excreción de nitrógeno en el estiércol y por lo tanto la emisión de amoníaco.

5.11.1. Desperdicios de nitrógeno en la producción de ganado lechero

Según Steinfeld *et al.* (2009), la eficiencia del ganado para asimilar nitrógeno es aún más baja que la eficiencia de los cultivos. Hay dos diferencias fundamentales en el uso del nitrógeno en la producción animal y en la producción de cultivos: La eficiencia de la asimilación en su conjunto es mucho más baja en la producción animal, el desperdicio inducido por el uso de insumos no óptimos es generalmente

más bajo en la producción animal. El nitrógeno entra en el ganado a través de las dietas. Las dietas pueden contener entre 10 a 40 g de N/ Kg de materia seca. Un estudio realizado por Smil (2002) en Estados Unidos, calculó la eficiencia de la conversión de proteínas del ganado lechero y obtuvo un resultado de 40%, lo cual, considerando su población animal, representa una excreción cercana a 75 millones de toneladas de nitrógeno.

La proteína suministrada en la dieta puede ser fermentada o escapar de la digestión ruminal, a esta proteína que pasa al intestino sin sufrir transformaciones en el rumen, se le denomina proteína de sobrepaso o escape. Si la proteína es fermentada en el rumen, puede ser transformada a aminoácidos o a amoníaco por acción de las enzimas microbianas. Así como también el nitrógeno no proteico puede ser desdoblado en amoníaco. De aquí que radique la importancia de mejorar la digestibilidad de la proteína para reducir el potencial contaminante desde el inicio (Shimada, 2009).

La proteína ingerida por la vaca lechera en parte es utilizada para el mantenimiento y crecimiento, y en parte es secretada en la leche, excretándose el resto en el estiércol en forma de nitrógeno orgánico. La concentración de nitrógeno orgánico en el estiércol del ganado lechero varía ligeramente de la concentración suministrada en la ración. Esto quiere decir que, una parte del nitrógeno se fija en la carne y la leche, y la otra se encuentra presente en la orina y el estiércol. Cuando la orina entra en contacto con el aire, parte del nitrógeno se desprende como NH_3 . En las granjas lecheras, el NH_3 se emite a partir de alojamientos de las vacas, de los depósitos de estiércol y cuando se aplica estiércol a la tierra, si las vacas se

mantienen en hacinamientos, o de las deposiciones de orina si las vacas están en sistemas de pastoreo (Phillips, 1996).

El nitrógeno orgánico y el nitrógeno mineral no emitidos en forma de NH₃ los recibe el suelo cuando se utilizan en parte para cultivar. El nitrógeno remanente se pierde por desnitrificación y lixiviados, o bien, se incorpora al nitrógeno orgánico del suelo. Las pérdidas de nitrógeno en el estiércol están 20 estrechamente relacionadas con el nivel de proteína ingerida con el alimento (Phillips, 1996).

Las principales estrategias que de acuerdo con el protocolo de Kyoto, publicado por la ONU (1998), permiten reducir las emisiones de NH₃, aunque a diferentes costos que pueden ser asumidos o no por el sector son: nutrición animal, diseño de las granjas, gestión y sistemas de tratamiento del estiércol, sistemas de aplicación de estiércol en campo. Calvet (2015) menciona que la estrategia más recomendada es el manejo de una adecuada nutrición animal, reduciendo el exceso de proteína en la dieta se consigue reducir el nitrógeno excretado en la orina, lo que implica una menor emisión de NH₃.

Así como también modificar los niveles de fibras o grasas ayuda a reducir la excreción de nitrógeno. Existen múltiples factores que condicionan la emisión por volatilización del amoníaco en un establo: porcentaje de proteína en la dieta, edad de la vaca, etapa productiva, densidad de animales por corral, tipo de cama, ventilación, condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire), características del estiércol (temperatura, pH, materia seca), tipo de almacenamiento (superficie expuesta) y condiciones durante la aplicación (Coma *et al.*, 2004).

Actualmente se ha visto una gran oportunidad para el aprovechamiento de las excretas como una fuente de energía renovable, por su uso para la producción de biogás, que puede ser utilizado para generar energía eléctrica o térmica. Por lo que muchas unidades de producción han incorporado sistemas de indigestión dentro de sus procesos productivos, en un principio con el fin de comercializar los Bonos de Carbono, por la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (UNAM, 2009).

Se ha visualizado una diversidad de usos y aplicaciones de estos sistemas, tales como la reducción de contaminantes en las descargas de aguas residuales de las unidades pecuarias y la generación de energía eléctrica. El sistema de biodigestor anaeróbico consiste en un proceso centralizado de manejo de excretas, las cuales son enviadas a un biodigestor, con un sistema de agitación y remoción de lodos, una laguna secundaria, un sistema de recolección, conducción y utilización del biogás para su quemado o para la generación de energía eléctrica y un quemador (UNAM, 2009).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó del mes de febrero al mes de julio de 2022 en la época de estiaje El 100% de las unidades de producción en distintos sistemas de producción (silvopastoreo o estabulación) en diferentes municipios del sur del Estado de México que producen leche durante la época de lluvias, pero no todas se complementan. Una vez que termina la época de lluvias, algunas unidades dejan de ordeñar ya que no suplementan. Sin embargo, existen otras unidades que continúan ordeñando y son las que suplementan a las vacas en lactación.

6.1. Sitio experimental

El trabajo de campo inició el 10 de febrero con visitas a tres unidades de producción (UP) las cuáles fueron seleccionadas con el objetivo de tener tres unidades de producción contrastantes en cuanto a su sistema de manejo de la alimentación. Dos unidades de producción se ubican en Telpintla, Municipio de Temascaltepec, y la tercera en Zacazonapan, Estado de México.

6.2. Descripción de las técnicas y procedimientos

6.2.1. Análisis de suplementos

La materia seca (MS) de los alimentos se determinó secando en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas, posteriormente se pasaron por una malla de 1 mm de un molino Willey. Las muestras se analizaron por duplicado de acuerdo con A.O.A.C. (1991) para el contenido de MS, proteína cruda (PC) mediante Kjeldahl, para calcular como N- Kjeldhal x 6.25 y, cenizas se determinó por incineración de la muestra a 550 °C durante 4 horas.

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991) fueron analizadas utilizando bolsas filtro Ankom F-57 en un analizador de fibra Ankom²⁰⁰ (Ankom Technolgy, Macedon, N.Y. E.U.). Para el análisis de FDN, las muestras se trataron con α -amilasa (Sigma A-3403 Sigma-Aldrich Co., Louis MO, EE. UU.).

6.2.2. *Peso y condición corporal*

Las vacas se pesaron mensualmente con una báscula electrónica ganadera portátil Smart Scale 200 (Gallaher ®), con capacidad de 1500 kg. La condición corporal fue determinada al momento de pesar a los animales, de acuerdo con la técnica descrita por Edmonson *et al.* (1989). La técnica se basa en la estimación por palpación de la cantidad de grasa subcutánea de la región periférica del maslo de la cola y sobre las apófisis transversas de las vértebras lumbares, utilizando una escala del 1 al 5 de acuerdo con la siguiente interpretación: 1 Flaco, 2 Moderado, 3 Bueno, 4 Gordo, 5 Obeso.

6.2.3. *Mediciones de la leche*

Para medir los rendimientos de leche (kg/vaca/día) se pesó el total de la leche del último día de cada periodo, con ayuda de una báscula electrónica colgante con capacidad de 20 kg. Se tomó una muestra de leche para cada vaca y se determinaron los rendimientos de grasa, proteína y lactosa (g/kg), mediante el equipo Ultrasonic Milk Analyzer Lactoscan-S[®] inmediatamente después de tomada la muestra al término del ordeño de cada vaca.

Para el análisis de nitrógeno ureico en leche (NUL), se tomaron 40 ml de

muestra de leche que se mantuvo en refrigeración hasta llegar al laboratorio donde fue centrifugada para eliminar grasa, posteriormente la muestra se conservó en ultracongelación (-18°C) para la posterior determinación del NUL de acuerdo con la técnica descrita por Chaney y Marback (1962).

6.2.4. Determinación de la composición de leche

Se determinó la composición de la leche (grasa, proteína y lactosa g/kg), tomando una muestra del tanque o bote en el que se recolecta la leche cada mañana después de la ordeña. Para las determinaciones, se utilizará un equipo portátil Lactoscan Milk Analyzer®, tomando 10 ml de leche.

6.2.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Las variables de respuesta animal y las estimaciones de nitrógeno ureico en orina fueron analizadas mediante un modelo mixto utilizando el programa SAS (SAS OnDemand, 2022), con un diseño de bloques completos al azar de acuerdo con la siguiente ecuación

$$Y_{ij} = \mu + UP_i + PE_j + V_k + \varepsilon_{ijk}$$

dónde: μ = media general, UP fue el efecto de la unidad de producción ($i = 1, 2$ y 3), PE fue el efecto del periodo experimental ($j = 1, 2 \dots 6$) como efectos fijos y la vaca como efecto aleatorio ($k = 1, 2 \dots 6$). Las diferencias significativas entre medias fueron comparadas con una prueba de Tukey ($P < 0.05$).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Características socioeconómicas de las unidades de producción seleccionadas

7.1.1. Sistema de producción Intensivo (Int):

Rancho el Potrero, comunidad de Telpintla en el municipio de Temascaltepec. El dueño de la UP es el C.P. Sergio Hernández. La unidad de producción cuenta con una extensión de 50 ha, de las cuáles 10 ha están destinadas para el cultivo de Rye Grass (*Lolium multiflorum*) y las 40 ha restantes como praderas de pastoreo de pastos nativos.

Las instalaciones de está UP son corrales para las vacas en producción (n = 2), corrales para becerros y becerras en crecimiento (menores a 12 meses de edad), y corrales para vaquillas de reemplazo. Los animales son de la raza Pardo Suizo de alto mérito genético, que se venden a diferentes UP en la región como reproductores para pie de cría y/o sementales. El sistema de reproducción es inseminación artificial. Además, en ocasiones se realiza la obtención de embriones, transferencia de embriones y la obtención de semen. La leche es vendida en su totalidad a talleres de queso locales, y el precio de venta es de \$8.0/L.

La mano de obra es contratada, y cuenta con dos trabajadores que se encargan del manejo de los animales y un encargado del Rancho, además de una persona más que se encarga del corte y henificado del forraje.

El sistema de explotación es en estabulación y cuenta con 10 ha de pasto Rye Grass anual (*Lolium multiflorum*) bajo un sistema de corte. El pasto después de cortar era henificado y ofrecido a los animales. Las vacas en lactación recibían 7 kg

de concentrado comercial con un contenido de proteína cruda (PC) de 18%. En el mes de marzo y ante el menor crecimiento del pasto, los responsables de la unidad de producción decidieron alternar el heno de Rye Grass y de Alfalfa (*Medicago Sativa*) con pastoreo. El horario de pastoreo era de 9:00 hasta las 13:30 h.

Las vacas eran ordeñadas dos veces al día (7:00 y 14:00 h) en una sala de ordeño mecánico. El sistema de ordeño no permitió tomar muestras de vacas individuales por lo que se decidió tomar 6 muestras de leche a diferente intervalo de tiempo durante el periodo de ordeño. De esta forma, se obtuvieron muestras de todas las vacas a diferente intervalo de tiempo (n = 6).

1.1.2. Sistema de producción semi-intensivo (Sint):

Rancho El Corralito. La UP se localiza en Telpintla, Temascaltepec. A poca distancia del Rancho el Potrero. El dueño de la UP es el Sr. Nicolás Baca. La mano de obra es familiar (una persona) y contratada (una persona). La leche que se obtiene en la UP es transformada en queso por la esposa e hija del productor. Los productos que se elaboran son queso tipo Oaxaca, Asadero, Panela, Requesón y Chongos Zamoranos y estos productos son comercializados en Temascaltepec y Tejupilco. El rango de precio de los quesos oscila entre \$180 y \$190 /kg.

La unidad de producción no cuenta con tierra propia, pero rentan terreno para poder mantener a un hato de 9 vacas y tres becerras de reemplazo. Las vacas son de raza Holstein (n = 4) y Pardo Suizo (n = 5). Las vacas son ordeñadas dos veces al día con una ordeñadora manual (6:00 y 15:00 h).

La superficie de terreno rentado es de aproximadamente 4 ha de las cuáles

1.75 ha son de pasto Rye Grass anual (*Lolium perenne*) y el resto es de una combinación de pastos nativos como *Paspalum notatum*, y naturalizados como *Cynodon plectostachyus*, *Cenchrus clandestinum*, Las vacas fueron suplementadas con 6 kg de una mezcla de concentrado comercial, salvado, rastrojo de maíz y pasta de soya. Las vacas salen a pastorear todo el tiempo (9:00 a 15:00 h) en las praderas anteriormente descritas.

1.1.3. Unidad de Producción Extensiva (Ext):

La unidad de producción extensiva se localiza en Zacazonapan, Estado de México. El dueño de la UP es el Sr. Jesús Arroyo Arroyo, aunque éste se encuentra retirado y ha dejado el manejo de la UP a dos de sus hijos. La leche producida en la UP es vendida al taller de quesos de la misma familia. El taller de queso tradicional Refregado o Añejo como también se conoce es manejado por el Sr. Jesús Arroyo y su esposa la Sra. Juana Rebollar. El precio que pagan por L de leche es de \$9.0.

El sistema de producción se puede definir como un sistema agrosilvopastoril (SASP), y también como un sistema de doble propósito (DP). La unidad de producción cuenta con 100 ha con cerco perimetral, sin subdivisión de potreros.

El hato productor consta de 80 animales de la raza Pardo Suizo, de los cuales 35 son vacas en lactación y el resto son becerros en crecimiento, más reemplazos y dos sementales de la misma raza. Las vacas son ordeñadas una vez al día (7:00 h) con el apoyo del becerro amarrado al cuello de la vaca (manejo tradicional en la región). Durante la ordeña las vacas fueron suplementadas con 5 kg de una mezcla de pasta de soya, maíz molido, rastrojo de maíz molido y melaza, adicionando 0.100-0.200 gr de sales minerales

Posterior al ordeño los becerros permanecen con sus madres mamando la leche residual hasta las 14:00 h, para ser separados en un potrero hasta la ordeña del día siguiente. Las vacas después del ordeño salen a pastorear en los potreros de praderas dominadas por pasto Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), así como pastos nativos (*Paspalum notatum*, *Paspalum convexum*, *Cynodon dactylon* como los más representativos). Además de los pastos en los potreros se encuentran arbóreas y arbustivas que también son consumidas por el ganado, estos recursos han sido descritos anteriormente por (Albarrán-Portillo et al., 2019).

7.2. Análisis de alimentos y forrajes

Los valores promedio de PC de los concentrados alimentos y forrajes en las tres UP se encuentran cercanos oscilan entre 141 a 164 g de PC/Kg de MS, mencionado Broderick (2003-2009). Por ende, se tomaron en cuenta los promedios de los alimentos suplementados oscilan entre 135 a 169 g de PC/Kg de MS. Los forrajes en estos PE fueron de baja calidad por la época de estiaje y por otra parte en los concentrados comerciales que son suplementados no se encontraban al 18% de PC como se decía, por ello no existe un exceso de PC.

En el cuadro 9 se observa la composición nutricional de los concentrados y forrajes muestreados en cada UP. Los concentrados con el mayor nivel de proteína cruda (PC) fueron menores en la UP Int con 141 g/Kg de MS y en la Ext con 144 g/Kg de MS, al último con mayor porcentaje de PC fue la UP Sint con 169 g/Kg de MS), en cada concentrado respectivamente. De igual forma, los contenidos de PC en los forrajes empleados fueron mayores para la UP Int con 167 g/Kg de MS en la pradera de Pasto Rye Grass anual (*Lolium perenne*) y con 153 g/Kg de MS para el

Heno de Alfalfa (194.7), seguida por Sint (163.6) y Ext (79.1) (g/kg de MS).

Cuadro 9. Composición química de concentrados y forrajes de unidades de producción Intensiva, semi-intensivo y extensiva.

UP	MS%	PC*	FDN*	FDA*	EE%
Intensiva					
Concentrado	82	141	192	51	98.9
Pradera	46	167	474	237	90.4
Heno de pradera	65	153	465	297	97.5
Semi-intensivo					
Concentrado	75	169	400	177	ND
Pradera	31	135	589.8	482.1	95.6
Extensivo					
Concentrado	78	144	356	141	ND
Pradera	580	79	655	374	ND

MS = materia seca; PC = proteína cruda; FDN = Fibra neutro detergente, FDA = fibra detergente ácido, EE = extracto etéreo; ND =no disponible.
*Medidas en g/kg de Ms

Los requerimientos de PC en vacas lecheras son cubiertos sólo en un 20-30% por PND (proteína no degradada en rumen). El resto, es degradada por la flora ruminal y utilizada desde la forma de amoníaco. El elevado aporte de proteína bacteriana al total de requerimientos y un déficit relativo de energía, limita la síntesis proteica bacteriana produciéndose con ello un exceso de amoníaco en el rumen que se absorbe, provocando problemas de salud y fertilidad; además, esto afecta la producción de leche y su contenido de sólidos totales. La síntesis de proteína microbiana depende principalmente del aporte del N en la ración y del suministro de energía que son requeridos en el rumen. En la medida que aumenta el nivel productivo de las vacas, aumenta el requerimiento de PND ampliándose de esta forma relación proteína-energía (Lanuza, 2016).

7.3. Rendimiento y composición de leche

En la producción lechera uno de los factores importantes para tener en cuenta son los requerimientos energéticos de las vacas para mantenimiento y producción. Se estima que, desde el nacimiento y hasta la quinta lactancia, los requerimientos de mantenimiento representan alrededor del 56% de los requerimientos totales, aún en vacas con elevada producción (Vallone et al., 2014).

En el trópico mexicano el 76% de las vacas de ordeña se manejan en sistema extensivo, familiares o de doble propósito, predominando las cruzas indefinidas de ganado Cebú con Criollo o con Pardo Suizo y en menor proporción con Holstein (Román, 1977)

En dos de las UP analizadas (Int y Ext) cuentan con el 99% de animales de la raza Pardo Suizo, los rendimientos de leche en esta raza al día son 25 L, en este experimento tuvimos como resultado un bajo rendimiento en producción de leche ya que el promedio de L de leche al día fue de 19.2 en la UP Int y de 7.8 en la UP Ext, esto tiene una gran influencia por los PE ya que fue en época de estiaje.

Al respecto Botero (2016) indica que las vacas de la raza Holstein pueden producir más de 25 litros de leche al día. Con un manejo eficiente puede llegar a los 50 litros. El contenido de grasa es de 3.70 y de proteína de 3.1, en promedio, sin embargo, los resultados que se obtuvieron en este análisis de rendimiento en leche (L/día) indican que la UP Sint son rendimientos muy eficientes de cierta manera ya que alcanzan una producción de 24.5 (kg/vaca/día), mencionando que solo cuentan con dos animales de esta raza.

En el cuadro 10 se observa el análisis estadístico de los rendimientos de leche por tipo de sistema de producción: intensivo (Int), semi-intensivo (Sint) y extensivo (Ext).

Cuadro 10. Rendimiento de leche por tipo de unidad de producción intensiva (Int), semi-intensiva (Sint) y extensiva (Ext) y por periodo experimental.

	Int	Sint	Ext	P =	E.E.
Leche (kg/día)	19.2 ^a	24.5 ^b	7.8 ^c	<0.001	1.07
Grasa (g/kg)	41.0 ^a	37.7 ^a	29.3 ^b	<0.001	1.75
Proteína (g/kg)	33.6 ^a	31.5 ^b	32.5 ^{ab}	0.03	0.58
Lactosa (g/kg)	46.2	47.5	47.8	0.16	0.61
NUL (mg/dl)	7.5 ^a	3.8 ^b	4.2 ^b	<0.001	0.45
NULY (g/d)	1.45 ^a	0.90 ^b	0.35 ^c	<0.001	0.06
Peso (kg)	512.5 ^a	585.1 ^b	430.7 ^c	<0.001	12.53
CC	2.5 ^a	3.06 ^b	2.5 ^a	<0.001	0.10
NUO ² (g/día)	147.7 ^a	123.9 ^b	126.7 ^b	<0.001	2.91

NUO = nitrógeno ureico en orina; ^{1,2} y ³ ecuaciones para lactación media, temprana y tardía y valores de NUL menores a 25 mg/dL, respectivamente; ND = no disponible

Existieron diferencias significativas en las variables de respuesta animal (rendimiento de leche, peso vivo y condición corporal), así como en la composición de leche. Los mayores rendimientos de leche se observaron en las UP Int y Sint con 19.2 y 24.5 (kg/vaca/día), respectivamente. Mientras que los menores rendimientos de leche (7.8 kg/vaca/día) se observaron en la UP Ext.

La producción de leche se relaciona de manera positiva con el peso vivo (PV) y la condición corporal (CC) al parto; la condición corporal o cambios en esta en el periodo seco y lactación temprana permanecen asociados con rendimiento lechero (Pedron, 1993).

Los rendimientos de leche son variables entre periodos, pero se observar una

tendencia a tener mayores rendimientos de leche en los PE 1 y 2, para después disminuir en los PE 3 y 4, y posteriormente volver a incrementarse en el PE 5 alcanzando niveles similares a los del PE 1 (Cuadro 11). Lo anterior se debe principalmente a la disponibilidad y calidad de forraje en las praderas.

Los rendimientos de leche son variables entre periodos, pero se observa una tendencia a tener mayores rendimientos de leche en los PE 1 y 2, para después disminuir en los PE 3 y 4, y posteriormente volver a incrementarse alcanzando niveles similares a los del PE 1 en los últimos dos PE (5 y 6). Lo anterior se debe principalmente a la disponibilidad de forraje en las praderas y la calidad de este. La misma tendencia se observa para las concentraciones de grasa, proteína y lactosa.

La mayoría de los sistemas de medición para la CC utilizan un método de puntuación de 5 puntos, con incrementos de un cuarto de punto. Este sistema concentra su precisión hacia las puntuaciones de rango medio (2.5 a 4.0), que incluye a la mayoría de las vacas, este rango medio es el más crítico para tomar decisiones de gestión. Los puntajes fuera de este rango indican problemas significativos (1.0 denota una vaca muy delgada, mientras que 5.0 indica una vaca excesivamente gorda) y esto genera enfermedades metabólicas o en el parto influyendo en problemas reproductivos y/o productivos (Elanco, 2009).

Encontramos en los distintos PE promedios estables (2.6 y 2.8 de CC), lo cual indica vacas en perfecta puntuación de CC.

En cuanto al PV y a la CC de las vacas en la UP Sint fueron las que registraron los mayores valores (585.1 kg/vaca y 3.06 puntos) siendo estadísticamente diferentes a los pesos y la CC de las vacas en las UP Int y Ext las cuales fueron

estadísticamente iguales (512.5, 2.5 y 430.7, 2.5 kg de PV y puntos de CC, respectivamente).

La concentración de grasa en leche fue igualmente mayor en las UP Int y Sint siendo estadísticamente iguales entre ambas UP (41.0 y 37.7 g/kg). Mientras que la concentración de proteína en leche fue mayor en la UP Int (33.6 g/kg) y estadísticamente igual a la de la UP Ext (32.5 g/kg). Entre las UP Sint y Ext no existieron diferencias significativas (31.5 y 32.5 g/kg) siendo ambas diferentes estadísticamente a la UP Int. En cuanto a lactosa en leche no existieron diferencias significativas entre las UP ($P = 0.04$).

Los niveles de nitrógeno ureico en leche (NUL, mg/dL) (Cuadro 10), fueron estadísticamente iguales en las UP Sint y Ext (3.8 y 4.2 mg/dL, respectivamente), y siendo menores a los niveles encontrados en la UP Int (7.5 mg/dL). Debido a que los rendimientos de leche entre las UP Int y Ext fueron mucho mayores a la UP Sint, se reporta el rendimiento de NUL en g/día, de esta forma se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre las tres UP, obteniendo rendimientos de NUL relativamente bajos. Por lo que se reportaron mayores valores de NUL en la UP Int con 1.45 (g/día), en segundo lugar, se ubicó la UP Sint con 0.90 (g/día) de NUL y en tercer lugar con los menores valores de NUL en la UP Ext con 0.35 (g/día).

La concentración de NUL fue relacionada en las tres UP, las cuales obtuvieron distintos resultados significativos los cuales fueron muy bajos a comparación con lo que indica la literatura (12 mg/dL), y es influenciado por la determinación del contenido proteico de los alimentos la medición de NUL nos sirven como un índice

de utilización ineficiente de N en la vaca lechera lactante, el nitrógeno no proteico (NPN) de la leche constituye del 5 al 6 % del N total de la leche, del cual el NUL suele aportar alrededor de la mitad. La nutrición, especie, clima, cantidad de leche producida, relación con la proteína de la leche, PV, CC y presencia de enfermedades, son todos factores que afectan los niveles de NUL (Acosta et al., 2005).

Oltner y Wiktorsson (1983) señalaron que las concentraciones que se encuentran por debajo de 14 mg de N/dl de NUL, indicaron una suplementación de PC insuficiente por unidad de energía dietética lo cual se relaciona con la paridad a medida que las vacas progresaban a través de su lactancia.

En el Cuadro 11, se observan los rendimientos de leche, composición de leche y NUL de acuerdo con los periodos experimentales. En todas las variables de respuesta existieron diferencias significativas entre los periodos experimentales (PE), con excepción de grasa (g/kg) ($P = 0.06$) y CC ($P = 0.12$).

Los rendimientos de leche son variables entre periodos, pero se observa una tendencia a tener mayores rendimientos de leche en los PE 1 y 2, para después disminuir en los PE 3 y 4, y posteriormente volver a incrementarse en el PE 5 alcanzando niveles similares a los del PE 1. Lo anterior se debe principalmente a la disponibilidad y calidad de forraje en las praderas.

Los rendimientos de leche son variables entre periodos, pero se observa una tendencia a tener mayores rendimientos de leche en los PE 1 y 2, para después disminuir en los PE 3 y 4, y posteriormente volver a incrementarse alcanzando niveles similares a los del PE 1 en los últimos dos PE (5 y 6). Lo anterior se debe

principalmente a la disponibilidad de forraje en las praderas y la calidad de este. La misma tendencia se observa para las concentraciones de grasa, proteína y lactosa.

Los niveles de NUL (mg/dL) fueron afectados por el factor PE (<0.001), los PE 1, 2 y 3 fueron estadísticamente iguales, y el PE más alto fue el 5, que fue estadísticamente igual al PE 4 (6.7 y 4.6 mg/dL, respectivamente). Los mayores niveles de NUL (mg/dL) se registraron en el PE5 con 6.7 (mg/dL), siendo estadísticamente diferentes a todos los demás PE. En cuanto a los rendimientos de NUL (g/día), los PE 2, 3, 4 y 6 fueron estadísticamente iguales, mientras que los niveles en los PE 1 y 5 registraron los valores más altos de rendimiento de NUL (1.1 y 1.22, respectivamente).

Cuadro 11. Rendimiento de leche por tipo de unidad de producción intensivo (Int), semi-intensivo (Sint) y extensivo (Ext) por periodo experimental

	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6	P =	E.E.
Leche (kg/día)	18.1 ^a	19.0 ^a	17.0 ^{ab}	16.1 ^b	18.1 ^a	14.8 ^b	<0.001	0.92
Grasa (g/kg)	34.4	32.7	34.4	36.0	40.8	38.0	0.06	2.04
Proteína (g/kg)	32.4 ^a	31.4 ^a	31.3 ^a	32.2 ^a	31.9 ^a	35.4 ^b	0.008	0.83
Lactosa (g/kg)	48.7	47.9	46.8	47.3	46.8	46.9	0.59	0.07
NUL (mg/dL)	6.4 ^{ac}	4.5 ^a	4.7 ^a	4.6 ^b	6.7 ^b	4.4 ^c	<0.001	0.40
NULY (g/día)	1.1 ^a	0.90 ^b	0.81 ^b	0.71 ^b	1.22 ^a	0.65 ^b	<0.001	0.09
Peso (kg)	530.3 ^a	524.3 ^a	529.4 ^a	538.0 ^a	488.0 ^b	446.5 ^c	<0.001	13.39
CC (puntos)	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	0.12	0.07
NUO ² (g/día)	140.2 ^a	128.1 ^b	129.5 ^b	128.7 ^b	142.6 ^a	127.5 ^b	<0.001	2.61

$$\text{NUO} = \text{nitrógeno ureico en orina}^2 99.4 + 6.4 \times \text{NUL}$$

7.4. Estimaciones de excreciones de nitrógeno ureico en orina

A partir de las ecuaciones propuestas por Bougouin *et al.* (2022) se realizaron las estimaciones de excreciones de nitrógeno ureico en orina (NUO) de vacas en lactación. Se utilizó la ecuación desarrollada para condiciones de Europa, ya que

los sistemas de producción de leche de Europa combinan el pastoreo con la estabulación a diferencia de los sistemas de Norte América (Canadá y estados Unidos) en dónde los sistemas de producción son totalmente confinados con dietas totalmente mezcladas.

De acuerdo con la fórmula de Bougouin *et al.* (2022) se estimaron los niveles de NUO (g/día) para cada UP. Los niveles de NUO fueron estadísticamente significativos entre las UP, teniendo que los mayores niveles se registraron en la UP Int con 147.7 (g/día), siendo significativamente mayores a los niveles en las UP SInt (123.9 g/día) y Ext (126.7 g/día), estas dos UP fueron estadísticamente iguales.

En cuanto a PE, se registraron diferencias significativas los mayores niveles de NOU se registraron en PE1 (140.2) y PE5 (142.5), siendo estadísticamente iguales entre si. Mientras que los niveles fueron menores en los PE 2, 3, 4 y 6, 128.1, 129.5, 128.7, y 127.5, respectivamente.

De acuerdo con el reporte de Bougouin *et al.* (2022), los niveles promedio de NUO en la base de datos utilizada para generar las ecuaciones de regresión para estimar NUL, NOU y nitrógeno ureico en heces en las regiones de Europa Intercontinental, Europa continental y Norte América fueron 175.5 con valores mínimos de 7.0 y máximos de 365.2 (g/día).

Los niveles de NOU determinados en este estudio que en promedio fueron de 132.7 (g/día) son menores al valor promedio reportado por Bougouin *et al.* (2022), lo cual concuerda con los bajos niveles de NUL encontrados, y que en conjunto indican que las vacas dentro del estudio no están siendo alimentadas con proteína cruda en exceso en la dieta, y que los niveles de expresión de nitrógeno en orina

son bajos en comparación con los valores reportados por Bougouin *et al.* (2022).

7.5. Factores que determinan los niveles de NUL

Se realizó un análisis de varianza para determinar los factores independientes que determinan los niveles de NUL (mg/dL). Los factores analizados fueron número de parto, días en lactación, peso y condición corporal. De éstos, solo la condición corporal tuvo un efecto significativo sobre NUL ($P = 0.003$). Posteriormente se correlacionaron ambas variables y se encontró una correlación negativa (-0.12) y no significativa ($P = 0.22$). Se estimó el valor de la pendiente de NUL en -0.798 (mg/dL), lo que indica que por cada incremento en una unidad en la calificación de CC los niveles de NUL disminuirán en 0.798 (mg/dL).

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados en las concentraciones de NUL y NUO fueron bajos, de acuerdo con lo reportado en la literatura. Los resultados indicando que los contenidos de PC en la dieta de las vacas no exceden sus requerimientos. El valor nutricional de los alimentos utilizados en las unidades de producción estudiadas es de moderado a bajo contenido de proteína cruda.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronegocios. (2005). Metabolismo de proteínas en las vacas lecheras. Recuperado el 25 de enero de 2018, de http://www.agronegocios.com.py/rural/ganaderia/bovinos_notas1.html
- Allison, C. D. (1985). Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Manage.* 38:305.
- allowances. *J. Dairy Sci.* 85: 1777-1792.
- Álvarez F.G., Herrera H.J.G, Barreras G.R., Martínez C.F.E., Hernández G.A. Pérez-P.J. 2004. Calidad de la alimentación y rentabilidad de granjas lecheras familiares del sur del valle de México. *Archivos de zootecnia.* 53:103-106.
- Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM. [Online]:
- ARC (Agricultural Research Council) (1981) The Nutrient Requirement of Pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1789750](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1789750)
- Arias, J. N. (1999). Importancia de los niveles de nitrógeno ureico en la leche y sangre en el ganado lechero. *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*, 16, 553-561.
- Bach, A. (2004). La reproducción del ganado vacuno lechero: Nutrición y Fisiología., *Nro 175*, págs. 13- 41. Purina España. Obtenido de <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos2001CAPV.pdf>
- Baker AM, JD Leaver. 1995. Effect of stocking rate in early season on dairy cow
- Bargo F, LD Muller, ES Kolver, JE Delahoy. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J Dairy Sci* 86, 1-42.
- Bargo F, LD Muller, JE Delahoy, TW Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* 85, 1777-1792.
- Bargo F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85: 1777-1792.
- BARGO F.; MULLER L.D.; DELAHOY J.E. Y CASSIDY T.W. 2002 c. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pastures
- Bargo, F., J. E. Delahoy, G. F. Schroeder, and L. D. Muller. 2006. Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pastures allowance and supplemented with different levels and sources of concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol.* 125: 17-31.
- Bavera, G. (2012). Razas lecheras bovinas. Asociación Criadores de Holando argentino, siglo XVII, 247–260.
- Bernal M.L., Rojas G.M., Vázquez F.C., Espinoza O.A., Estrada F.J., Castelán O.O.

2007. Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México. *Recista redalyc*, 38:395-407
- body condition scores in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1988–1995.
- Bretschneider, G., Salado, E., Cuatrin, A., & Arias, D. (2015). Lactancia: Pico y Persistencia. *Artículo de Divulgación*, 2300, 1–3.
- Bougouin, A., Hristov, A., Dijkstra, J., Aguerre, M.J., Ahvenjärvi, S., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A.R., Benchaar, C., Boland, T., Brown, W.E., Crompton, L.A., Dehareng, F., Dufrasne, I., Eugène, M., Froidmont, E., van Gastelen, S., Garnsworthy, P.C., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Herremans, S., Huhtanen, P., Johansen, M., Kidane, A., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lessire, F., Lund, P., Minnée, E.M.K., Muñoz, C., Niu, M., Nozière, P., Pacheco, D., Prestløkken, E., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Spek, J.W., Terranova, M., Vanhatalo, A., Wattiaux, M.A., Weisbjerg, M.R., Yáñez-Ruiz, D.R., Yu, Z. and Kebreab, E., 2022. Prediction of nitrogen excretion from data on dairy cows fed a wide range of diets compiled in an intercontinental database: A meta-analysis *Journal of Dairy Science*, 105, 7462–7481
- BURKHOLDER, K.; GUYTON, A.; MCKINNEY, J.; KNOWLTON, K. 2004. The effect of steam flaked or dry ground corn and supplemental phytic acid on nitrogen partitioning in lactating dairy cows and ammonia emission from manure. *Journal of Dairy Science* (87): 2546-2553.
- Bylund, G.M. Composición de la leche de vaca/ principales ácidos grasos en la grasa de la leche. 2003. In: Mundi-Prensa. Manual de industrias lácteas. 1a ed. Tetra Pak Processing Systems. Madrid. España. pp. 18-34.
- Calberry, J. (s.f.) 2002. Nitrógeno de la urea en la leche que prueba para mejorar la utilización de la proteína en los ganados lecheros. Obtenido de Disponible en [http//](http://)
- Carulla J, Cárdenas EA; Sánchez N, Riveros C. 2004. Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada en la zona andina colombiana. En: Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad". 2006 septiembre 1 y 2, Medellín, p. 21-38.
- Castillo JV, Olivera MA y Carulla JF. (2013): Descripción del mecanismo bioquímico de la biohidrogenación en el rumen de ácidos grasos insaturados: una revisión. *Revista U.D.CA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2): 459-468.
- Cervantes E.F., Cesin V.A. 2007. La pequeña lechería rural o urbana en México, y su papel en el amortiguamiento de la pobreza. *Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología* 25:72-85
- Cervantes EF, Santoyo CH, Álvarez MA (2001) Lechería familiar, factores de éxito para el negocio. 1ra ed. Uach/CIESTAAM-PIAI. Plaza y Valdés. México, D.F. 230 pp.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Enjalbert, F., Ferlay, A., Bocquier, F. & Schmidely, P. (2007). Resultados recientes sobre los efectos de la alimentación en la composición en ácidos grasos de la leche de vaca, cabra y oveja. *Revista*

- Argentina de Producción Animal, 27: 197-213.
- Chinnadurai, K.; Kanwal, H.K.; Tyagi, A.K.; Stanton, C. and Ross, P. 2013. High conjugated linoleic acid enriched ghee (clarified butter) increases the antioxidant and antiatherogenic potency in female Wistar rats. *Lipids Health Dis*, 12: 121.
- cializada: "Bases Nutricionales y su Impacto
- Clark, D. A., and V. R. Kanneganti. 1998. Grazing management systems for dairy cattle. Page 331 in *Grass for Dairy Cattle*.
- Colette, C. & Monnier, L. (2011). Acides gras: Classification, fonction et équilibre entre les différentes familles. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 5: 237-245.
- Coma, Bonet, & Companys, (2004). Producción ganadera y contaminación ambiental. Grupo Vall Companys. Recuperado a partir de
- Davis SR. 2005. Lactational traits of importance in dairy cows and applications for emerging biotechnologies. *New Zeal Vet J.* 53:400–405. doi: 10.1080/00480169.2005.36584
- De Luca, L. (2002). <http://www.produccionbovina.com/informacion>. *Urea: Su utilización en rumiantes*.
- DELABY L.; PEYRAUD J.L. Y DELAGARDE R. 2003. Faut-il compléter les vaches laitières au pâturage? *INRA. Prod. Anim.*, 16(3): 183-195.
- Domecq J, Skidmore A, Lloyd J, Kaneene J. Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding Holstein cows. *J Dairy Sci* 1997a; 80: 113-120.
- Domecq J, Skidmore A, Lloyd J, Kaneene J. Relationship between body condition scores and milk yield in a large dairy herd of high yielding Holstein cows. *J Dairy Sci* 1997b; 80: 101-112.
- ELROD, C.; BUTLER, W. 1993. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *Journal of Animal Science* (71): Elsevier Science, The Netherlands. p. 17-44.
- en la Productividad". 2006 septiembre 1 y 2, En: Seminario Nacional de Lechería Espe-
- Enevoldsen C, Kristensen T. Estimation of body weight from body size measurements and BCS in dairy cows. *J Dairy Sci* 1997; 80: 1988-1995
- Enevoldsen, C., Kristensen, T., 1997. Estimation of body weight from body size measurements and
- ENGORMIX, 2015. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/condicion-corporal-vacas-lecheras-t32210.htm>
- especializada en la zona andina colombiana.
- FAO, 2022. <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/#:~:text=Leche%20de%20vaca%3A%20las%20grasas,vaca%20va>

[r%C3%ADa%20seg%C3%BAn%20la%20raza.](#)

- Fernández, E. F., Hernández, J. A. M., Suárez, V. M., Villares, J. M. M., Yurrita, L. R. C., Cabria, M. H., & Rey, F. J. M. (2015). Documento de Consenso: Importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), 92–101. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8253>
- FOLLETT, R. 2001. Nitrogen transformation and transport processes. *In*: Follett, R.; Hatfield, J. eds. Nitrogen in the environment: Sources, problems and management.
- Forbes, J. M. 1998. Feeding behaviour. In Forbe, J. M., ed. Voluntary feed intake and diet selection in farm animal. CAB International, Oxon (UK). Pp. 11-37
- Gamboa-Mena J.V., Magaña-Magaña M.A., Rejón-Ávila M., Pech Martínez V.C. 2005. Eficiencia económica de los sistemas de producción de carne bovina en el municipio de Tizimín, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 5:79-84
- García C, Panadero I, Navas A. (2012) "Factores que influyen en la composición nutricional de la leche," *Revista Ciencia Animal*: No. 5, Article 7.
- García, S. And C. Holmes. 2001. Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in a pasture-based dairy system. *Livestock Production Science*, 68:189-203.
- Garnsworthy pe, Topps JH. (1982) The Effect of Body Condition of Dairy Cows at Calving on their Food Intake and Performance when Giving Complete Diet. *Animal Production*:57; 57:15-21.
- Garriz, M., & López, A. (2002). Suplementación con nitrógeno no protéico en rumiantes. *Facultad de veterinaria de la universidad de Buenos Aires*, 24 páginas.
- Gerloff BJ. (1986) Relationship of Hepatic Lipidosis to Health and Performance in Dairy Cattle. *J Am Vet Med Assoc*;188:845-850
- Giorgis A., Perea M.J.M., García M.A., Gómez C.A.G., Sánchez P.E.A., Larrea. A. 2011. Caracterización técnico-económica y tipología de las explotaciones lecheras de la Pampa (Argentina). *Revista Científica, FCV-LUZ*. 21:340-352.
- Glauber, C. E. (2007). FISIOLÓGÍA DE LA LACTACIÓN EN LA VACA LECHERA Volver a: Producción bovina de leche. *Veterinaria Argentina*, 24(234), 274–281.
- GROSSMAN M, HARTZ SM, KOOPS WJ. Persistency of lactation yield: A novel approach. *J Dairy Sci* 1999; 82:2192-2197.
- Hammond, A. C. 1997. Update on BUN and MUN as a guide for protein supplementation in cattle. 8th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. Proceedings, Gainesville, FL
- Hansen LB. Consequences of Selection for Milk yield from a geneticist's viewpoint. *J Dairy Sci* 2000; 83:1145-1150
- Harding F. Milk quality. Glasgow; Chapman and Hall; 1995.
- Harvatine, K.J.; Boisclair, Y.R. and Bauman, D.E. 2009. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Animal*, 3: 40-54.

- Hernández M.P., Estrada F.J.G., Avilés N.F., Yong A.G., López G.F., Solís M.A.D., Castelán O.O.A. 2013. Tipificación de los sistemas
- Hernández-Ortega M, Martínez-Fernández a, Soldado A, González A, Arriaga-Jordán CM, Argamentería A, de la Roza-Delgado B, Vicente F. 2014. Effect of total mixed ration composition and daily grazing pattern on milk production, composition and fatty acids profile of dairy cows. *Journal of Dairy Research* 81: 471-78.
- <http://ecotec.unam.mx/ECotec/wp-content/uploads/Diagnostico-Nacionalde-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf>
- <http://ecotec.unam.mx/ECotec/wp-content/uploads/Diagnostico-Nacionalde-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf>
- <http://www.das.psu.edu/dcn/CATFORG/pasture/pdf/supplementation.pdf>
- http://www.produccionbovina.com.ar/sustentabilidad/46ganaderia_y_contaminacion.pdf
- http://www.veterin.unam.mx/fmvz/enlinea/Ruminal/digest_ruminal.htm.
- <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.126>
- JORDAN, E.; CHAPMAN, T.; HOLTAN, D.; SWANSON, L.1983. Relationship of dietary crude protein to composition of uterine secretions and blood in high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science* (66): 1854-1862.
- Kay, J. K., Weber, W. J., Moore, C. E., Bauman, D. E., Hansen, L. B., Chester Jones, H., Crooker B. A. & Baumgard, L. H. (2005). Effects of week of lactation and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 88: 3886-3893.
- Kay, J.K., W.J. Weber, C.E. Moore, D.E. Bauman, L.B. Hansen, H. Chester-Jones, B.A. Crooker, and L.H. Baumgard. 2005. Effects of week of lactation and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 88:3886-3893.
- Koenen E, Groen A, Gengler N. Phenotypic variation in live weight and live-weight changes of lactating Holstein-Friesian cows. *J Anim Sci* 1999; 68: 109-114.
- Kolver E, L.D. Muller, G.A. Varga y T. J. Cassidy 1998. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:2017-2028.
- KOLVER E. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proceedings of the Nutrition Society.* 62: 91-300.
- Kolver ES, LD Muller. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J Dairy Sci* 81, 1403-1411
- Krall E, Bonnacarrere LM, Favre E, Souza Da Silva JH, Viegas J. (1997) Relación entre Estado Corporal y la Producción de Leche J Grasa y Proteína en inicio de Lactación. *Disertación de Maestría.* Santa Maria R.S
- Lanuzá, F. (2010). Requerimientos de nutrientes según estado fisiológico en bovinos de leche. *Manual de Producción de Leche Para Pequeños y Medianos Productores*, 148, 1–16.

- Lathamn, M. J., J. E. Stony, and M. E. Sharpe. 1972. Effect of low-roughage diets on the rumen and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24 (6): 871-877.
- LEAVER, J.D. 1985. Milk production from grazed temperate grassland. A review, *J. Dairy Res.* 52: 313-344.
- Lechero 2007-2012. SAGARPA. México. 41 p.
- LEFTCOURT, A.; MEISINGER, J. 2001. Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition. *Journal of Dairy Science* (84): 1814-1821.
- León Velarde Carlos U. (1981). Manejo de sistemas de producción de leche en el trópico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Programa de producción animal. 57 pp.
- Loera, J., & Banda José. (2017). Industria Lechera En México. *Revista de Investigaciones Altoadinas*, 19(4), 419–426.
- Magaña-Monforte, J. G., Ríos-Arjona. G., Martínez-González, J. C. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México. Vol. 14 (3): 105-114.
- Månsson, H.L. 2008. Fatty acids in bovine milk fat. *Food Nutr Res*, 52: 1-3.
- Margariños H. Producción higiénica de la leche cruda. Una guía para la pequeña y mediana empresa. 1ª ed. Guatemala, Guatemala: Producción y Servicios Incorporados S.A. 2001
- Martínez L.C.J., Paredes G.L.B. 1999. Estudio técnico-económico y de sensibilidad de un sistema de producción doble propósito leche-carne en la zona de Barinas, estado Barinas. *Zootecnia tropical.* 17:155-174
- Mayne, C.S., and I.A. Wright. 1988. Herbage intake and utilization by the grazing dairy cow. p.280-293. In Garnsworthy, P.C. (ed.). *Nutrition and lactation in the dairy cow.* Butterworths, London, England.
- MCCRORY, D.; HOBBS, P. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *Journal of Environmental Quality* (30): 345-355.
- McDonald, P. (2002). *Animal nutrition.* 7th edition. Londres, Reino Unido, Pearson education. Pp 692.
- Medellín, p. 21-38.
- Minson, D.J. 1981. Effects of chemical and physical composition of herbage eaten upon intake. In: *Nutritional limits to animal production from pastures* proceedings of an International Symposium held at Sta. Lucia. Ed. J.R. Hacker, Queensland, Australia. pp. 187-197.
- Minson, J. D. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition.*
- Minson, J. D. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition.* Academic Press. San Diego, CA. NRC. (1987). *Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals.* National Academy Press. Washington, DC.
- Montiel-Olguin et Al. 2019. BCS and Milk Production on Conception Rate of Cows under a Small-Scale Dairy System (1) Es. Pdf, n.d.)

- MOORBY, J.; THEOBALD, V. 1999. The effect of duodenal ammonia infusions on milk production and nitrogen balance of the dairy cow. *Journal of Dairy Science* (82): 2440-2442.
- Morales-Almaráz, E., De la Roza-Delgado, B., González, A., Soldado, A., Rodríguez, M. L., Peláez, M. & Vicente, F. (2011). Effect of grazing or indoor systems to increase unsaturated fatty acid level in milk of dairy cows *Renewable Agriculture and Food Systems*, 26: 224-229.
- Moreno G.A., Herrera A.G., Carrión G.M., Álvarez B.D., Pérez S.R.E., Ortiz R.R. 2012. Caracterización y modelación esquemática de un sistema familiar de bovinos productores de leche en la Ciénega de Chapala, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 20:85-94
- MULLER L.; DELAHOY J. Y BARGO F. 2003. Supplementation of lactating cows on pasture. Penn State University 5 p.
- MULLIGAN, F.; DILLON, P.; CALLAN, J.; RATH, M.; O'MARA, F. 2004. Supplementary concentrate type affects nitrogen excretion of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* (87): 3451-3460.
- Nava C. y A. Díaz. 2001. *Introducción a la Digestión Ruminal*. Departamento de Nutrición
- Nava R., Urdata M.F., Casanova A. 2009. Comportamiento económico y financiero de sistemas de ganadería de doble propósito (Taurus-Indicus). *Revista Científica, FCV-LUZ*. 19:356-365.
- NELSON, D.; COX, M. 2000. *Lehninger principles of biochemistry*. 3rd edition. Worth Publishers. New York, U.S.A. 1152 p.
- Nottingham University Press, Nottingham, UK, Pp 203.
- NRC. (2001). *The nutrient requirement of dairy Cattle*. (Seventh ed.). Washington. D.C.: National Academy Press.
- Ochoa, M. B. (2005). *Zootecnia de Bovinos Productores de leche*. D.F., México: UNAM.
- Olesen I, Groen AF, Gjerde B. Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. *J Anim Sci* 2000; 78, 570–582.
- Ortiz S., J. A., O. García T., y G. Morales T. 2005. *Manual de manejo de bovinos productores de leche*. Colegio de Posgraduados y Secretaría de la Reforma Agraria. México. 53 p.
- PASEIRO, L Perfecto. Control de calidad de la leche. Universidad de santiago. Facultad de farmacia y departamento de bromatología y tecnología y análisis químico aplicado. Santiago de Chile, 1980; p.21-42.
- Pérez, P., G. Anrique y V. Gonzále. 2007. Factores no genéticos que afectan la performance and sward characteristics. *Grass Forage Sci* 41, 333-340.
- Peyraud JL, L Delaby. 2001. Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows' responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. In: arnsworthy PC, Wiseman J (eds). *Recent Advances in Animal nutrition*.
- Peyraud, J.; Gonzalez, A. 2001. Relations between grass production,

- supplementation and intake in grazing dairy cows. *Grassland Science in Europe* Vol. 5; 269-282
- Phillips, (1996). *Avances de la ciencia de la producción lechera*. Zaragoza, España: Acribia S.A de C.V. Shimada, A. (2009). *Nutrición animal* (2a ed.). México: Trillas.
- Prendiville R, Pierce KM, Buckley F 2009: An evaluation of production efficiencies among lactating Holstein-Friesian, Jersey, and Jersey x Holstein-Friesian cows at pasture. *Journal of Dairy Science* 92: 6176-6185.
- Producción y composición de la leche en un rebaño de pariciones biestacionales en la décima región de los lagos, Chile. *Revista técnica agrícola*, 67:39-48.
- Quintero, Juan Carlos, et al. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. En: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Junio, 2007. Vol. 20, no. 2, p. 149-156.
- Rinehart. L. (2008). Servicio Nacional de Información de Agricultura Sostenible. *Nutrición para rumiantes en pastoreo*, 31(333), 2-5.
- Roche JDSC 2017 BCS on pastures es-ES.pdf*. (n.d.).
- Román-Ponce, H. (1981). Potencial de producción de los bovinos en el trópico de México. *Ciencia Veterinaria*. 394-429.
- ROSELER, D.; FERGUSON, J.; SNIFFEN, C.; HERREMA, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* (76): 525-534.
- ROTZ, C. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science* 82(E. Suppl.): E119-E137.
- Ruiz A.K., Ponce P., Gomes G., Mota R. A, Sampaio E., Lucena E.R., Benone S. 2011. Prevalencia de mastitis bovina subclínica y Microorganismo asociado: comparación entre ordeño manual y mecánico, en Pernambuco, Brasil. *Revista Salud Animal*. 33:57-64
- SAGARPA 2018. <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-en-mexico-sagarpa-158944?idiom=es>
- SAGARPA secretaria de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2018. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
- SAGARPA secretaria de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2014. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2007). Programa
- Sedesol. Manual de normas de control de calidad de leche cruda. 6ª Revisión. Liconsa. Dirección de producción; 2007: 1-28.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2020. chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://secampo.edomex.gob.mx/sites/secampo.edomex.gob.mx/files/files/Produccion_Campo/Bovino_Leche2020.pdf

- Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2021. Población ganadera.
- SIAP-SAGARPA. (2014). Panorama de la lechería en México. [Http://www.siap.gob.mx/](http://www.siap.gob.mx/)
- Silvestre, A., A. Martins, V. Santos, M. Ginja and J. Colaço. 2009. Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livestock Science*, 122: 308-313.
- Smil, (2002). Nitrogen and food production: Proteins for human diets. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(2), 126–131.
- Steinfeld, Gerber, Wassenaar, Castel, Rosales, & Haan, (2009). La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones. Rome: FAO. Recuperado a partir de http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=553605
- Stockdale, C. R., G. P. Waler, W. J. Wales, D. E. Dalley, A. Birkett, Z. Shen, and P. T. Doley. 2003. Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *J. Dairy Res.* 70: 267-276.
- Swaisgood, H.E. 2003. Protein composition of milk: identification, structure and chemical composition. In: Fox, P.F. and McSweeney, P.L.H. *Advanced dairy chemistry: proteins part*
- TAMINGA, S. 1992. Nutrient management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science* (75):345-357.
- Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science.* 75:345-357.
- Tamminga, S., 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *J. Dairy Sci.* 75, 345– 357
- TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J.; HAVLIN, J. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5 ed. Macmillan Publishing Company. New York, U.S.A. 634 p.
- UNAM. (2009). Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México. Recuperado a partir de
- UNAM. (2009). Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México. Recuperado a partir de
usados en los sistemas de producción lechera
- VAN HORN, H.; WILKIE, W.; POWERS, W. 1994. Components of dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science* (87): 2158-2166.
- VAREL, V.; NIENABER, J.; FREETLY, H. 1999. Conservation of nitrogen in cattle feedlot waste with urease inhibitors. *Journal of Animal Science* (77): 1162-1168.
- Vicente, F., Santiago, S., Jiménez-Calderón, J.D. & Martínez-Fernández, A. (2017). Capacity of milk composition to identify the feeding system on dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 84: 254-263.
- Waltner S, mcnamara J, Hillers J. Relationships of body condition score to production variables in high production Holstein dairy cattle. *J Dairy Sci* 1993; 76: 3410-3419.
- WATTIAUX Michel. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo

Internacional de la Industria Lechera Universidad de Wisconsin Madison
[Citado 3 de junio de 2005]. Disponible en
<http://babcock.cals.wisc.edu/downloads/de/19.es.pdf>

- Wattiaux, M. (1998). Guías técnicas lecheras Electrónicas. *Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la inductria lechera. Universidad de Wisconsin-Madison*. Obtenido de <vaca.agro.uncor.edu/~pleche/material/babkcoc/06_s.pdf>
- Wood, PDP. A note on seasonal fluctuations in milk production. En: *Animal Production*. 1972. Vol. 15, p. 89–92.
- WU, Z.; TOZER, P.; GROFF, E. 2001. Dietary manipulation to reduce nitrogen excretion by lactating dairy cows. *In: Proceedings Paper from Penn State's 2001 Dairy Cattle Nutrition Workshop-November 6-7*.
- Zavala, D., López, F., & Ventura, B. (2005). Efecto de la proteína cruda y la energía en la fertilidad de vacas lecheras en ocho ganaderías de el Salvador. (*Tesis*) *Universidad del Salvador, Facultad de ciencias Agronómicas*. 117 pg.