



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**Parámetros productivos y estado mineral del ganado lechero en pastoreo  
suplementado con distintos niveles de concentrado**

**TESIS**

Que para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista

Presenta:

**Josué Chávez Hernández**

**Asesores**

Dr. Ernesto Morales Almaraz

Dr. Ignacio Arturo Domínguez Vara

Dr. Rodolfo Vieyra Alberto

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca. México

Agosto de 2021



## CONTENIDO GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Agradecimientos	i
Dedicatorias	ii
Índice de cuadros	v
Índice de figuras	ii
Resumen	vi
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	3
2.1. La producción de leche de vaca	3
2.1.1. Situación actual de la producción de leche en México	3
2.2. Valor nutricional de la leche	4
2.3. Factores que influyen en la producción y composición de la leche	6
2.3.1. Factores Intrínsecos	7
2.3.2. Factores Extrínsecos	9
2.4. Importancia de la alimentación mineral en los bovinos	11
2.4.1. Macrominerales	12
2.4.1.1. Calcio (Ca)	12
2.4.1.2. Fósforo (P)	14
2.4.1.3 Potasio (K)	16
2.4.1.4. Magnesio (Mg)	16
2.4.1.5. Sodio (Na)	17
2.4.1.6. Cloro (Cl)	18
2.4.1.7. Azufre (S)	18
2.4.2. Microminerales	19
2.4.2.1. Cobre (Cu)	19
2.4.2.2. Selenio (Se)	20
2.4.2.3. Zinc (Zn)	20
2.4.2.4. Hierro (Fe)	20
2.4.2.5. Yodo (I)	21
2.5. Fuente de minerales para el animal	21
2.6. Factores que afectan el consumo de nutrientes	25
III. Justificación	26
IV. Hipótesis	27
V. Objetivos	28
VI. Límite de espacio	29
VII. Límite de tiempo	30
VIII. Materiales y métodos	31
8.1. Material	31
8.1.1 Material biológico	31
8.1.2. Material de campo	31
8.1.3. Material de laboratorio	31

8.2. Método	32
8.2.1. Animales y tratamientos	32
8.2.2. Desarrollo experimental	32
8.2.3. Análisis de laboratorio	33
8.2.4. Análisis estadístico	34
IX. Resultados y discusión	36
9.1. Minerales en alimentos	36
9.2. Consumo de alimento y minerales.	36
9.3. Minerales en suero sanguíneo	39
9.4. Correlación de variables	41
9.4.1. Correlación del consumo de minerales y la concentración mineral en suero sanguíneo de vacas.	41
9.4.2. Correlación entre el consumo de minerales y la producción de leche de vacas	41
9.4.3. Correlación entre la concentración mineral en suero sanguíneo y la producción de leche de vacas	42
X. Conclusiones	44
XI. Literatura citada	45

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1.	Requerimientos de minerales de vacas lecheras en lactación	12
2.	Contenido de minerales en los alimentos de vacas Holstein en pastoreo suplementadas con distintos niveles de concentrados en el Valle de Toluca, México	37
3.	Ingestión diaria de alimento (kg MS) de vacas Holstein en pastoreo complementado con distinto nivel de concentrado	38
4.	Producción de leche y consumo de macrominerales y microminerales de vacas Holstein en pastoreo complementado con distintos niveles de concentrado	39
5.	Concentración de minerales en suero sanguíneo de vacas Holstein suplementadas con distintos niveles de concentrado	40
6.	Coefficientes de correlación	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1.	Producción de leche por entidad federativa en México (Litros)	4
2.	Principales municipios productores de leche del Estado de México (Litros)	5
3.	Factores que influyen en el consumo de alimento por los animales	25

## RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la relación entre los parámetros productivos con el consumo y la concentración mineral (Ca, P, Mg, K, Na, Fe, Cu, Zn) en suero sanguíneo de vacas en pastoreo suplementadas con distintos niveles de concentrados, se utilizaron 9 vacas multíparas Holstein en lactación distribuidas en tres grupos homogéneos en un diseño cuadro latino repetido 3x3 con tres periodos experimentales de 19 días cada uno. Los tratamientos fueron la combinación del nivel de concentrado suplementado en la estabulación con el tiempo en la pradera. 1) **8c**: ocho kilogramos de concentrado y ocho horas continuas de pastoreo (07:00 a 15:00h); 2) **5**: cinco kilogramos de concentrado y doce horas de pastoreo (07:00 a 15:00h y de 16:00 a 20:00h); 3) **3c**: tres kilogramos de concentrado y doce horas de pastoreo (07:00 a 15:00h y de 16:00 a 20:00h). En la pradera, la asignación de pasto fue de 25kg de MS/d/vaca, y adicional al concentrado, ensilado de maíz *ad libitum* en el establo. El consumo y la producción de leche fueron afectados por los tratamientos ( $P < 0.05$ ), el tratamiento 8hx8c mostró los niveles más altos para ambas variables. A excepción de K y Fe, el consumo del resto de los minerales fue afectado ( $P < 0.05$ ) por los tratamientos. El tratamiento con el nivel más alto de concentrado presentó el mayor consumo de macrominerales y de Zn. Sin embargo, a excepción del Zn, el consumo de Ca, P, Mg, K, Na, Cu y Fe estuvieron no cubrieron los requerimientos de vacas productoras de leche. La concentración de minerales en suero sanguíneo de bovinos no mostro diferencias ( $P < 0.05$ ) con los niveles de concentrado evaluados, excepto Cu. Independientemente del tratamiento, la concentración de mineral fue normal para P, Na, Cu y Fe; crítica para Ca; deficiente para Mg y Zn; y excesiva en K. En el análisis de correlación, se observó una correlación negativa media ( $P < 0.05$ ) entre el consumo de Na y su concentración en suero sanguíneo, así mismo, se encontró una correlación positiva ( $P < 0.05$ ) entre el consumo de Ca, P, Mg, Na, Fe y Zn y la producción de leche. Nula correlación ( $P > 0.05$ ) hubo entre la concentración de minerales en suero sanguíneo y la producción de leche, indicando que el estado mineral del animal determinado por el análisis de suero no es un aspecto que influya en la producción láctea del animal bajo las condiciones de nuestro estudio. El presente trabajo mostró un ineficiente aporte de minerales con la dieta, de continuar siendo insuficiente el consumo de minerales para satisfacer los requerimientos del animal, la presencia de deficiencias y repercusiones en la producción de leche, reproducción y salud del animal en general podría ser deteriorada más adelante.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria lechera en México, enfrenta una gran competencia internacional y actualmente se importan grandes cantidades de leche en polvo y productos lácteos para satisfacer la demanda nacional. No obstante, se aprecia que, en promedio, la producción lechera crece a tasas más elevadas que el consumo general; sin embargo el dinamismo de la demanda pecuaria, en el corto y largo plazo, sugiere grandes retos en este subsector para implementar estrategias que aumenten la producción ganadera, tales como la erradicación de enfermedades, así como la conservación de suelos y uso eficiente del agua en la producción de cultivos y forrajes, con la finalidad de generar productos de calidad para el consumidor (SAGARPA, 2010).

Producir leche de calidad y en cantidad óptima al más bajo costo posible es el objetivo primordial de cualquier unidad de producción lechera. La mayoría de las unidades de producción de ganado vacuno lechero en regiones templado húmedas llevan un sistema de alimentación basado en forrajes conservados (henos o ensilados) y concentrados compuestos por cereales, fuentes de proteína y subproductos, sin embargo, las vacas alimentadas solo con pasto representa el sistema con menor costo debido a que el forraje pastoreado es la fuente más barata de nutrientes (Peyraud y Delaby, 2001). El desafío en los sistemas de producción del ganado lechero en pastoreo es alcanzar altos niveles de consumo de materia seca y la producción de leche por la manipulación del manejo del pastoreo y la suplementación (Bargo et al., 2003). Sin embargo, la estacionalidad de la producción de pasto y la variabilidad en su valor nutritivo provoca grandes variaciones en la productividad animal.

Ahora bien, la capacidad de producción de leche en base a forraje puede no alcanzar el potencial productivo del animal y es imprescindible la suplementación, particularmente al principio de la lactación cuando la fuente energética para producir leche incluye la movilización de reservas corporales. En animales de alta producción en pastoreo como base de su alimentación, aun siendo praderas de alta calidad, el primer nutriente limitante es la energía (Kolver y Muller, 1998), por lo que resulta necesario suplementar fuentes de energía a los animales.

Por tanto, en los sistemas de producción de leche la alimentación del ganado es un factor crítico, considerando que en pocas ocasiones se cubren sus necesidades nutritivas a través del año, con ello, el rendimiento productivo y reproductivo del animal a menudo se ven seriamente afectados por su estado nutricional sub-óptimo, sobre todo en períodos fisiológicos críticos, como en la lactación, donde nutrientes como la proteína y la energía pueden ser limitantes en determinadas circunstancias. Cuando se cubren los requerimientos de proteína y energía, los minerales se hacen cada vez más importantes en la nutrición del

ganado lechero (Suttle, 2010), hay evidencia de que ciertos desequilibrios minerales afectan directa e indirectamente el comportamiento productivo del animal (Minson, 1990). El contenido mineral en la dieta es esencial, aunque la medición individual de sus efectos es difícil debido a su interrelación con otros minerales y la capacidad del animal para absorberlos (Underwood, 1999).

Existe referencia (Albarrán-Portillo, 1999; Peña-Carmona, 1999; citados por Arriaga-Jordán et al., 2001) sobre el mejor desempeño productivo del ganado lechero alimentado con forrajes y limitadas cantidades de concentrado (3.0 kg/vaca/día) en comparación con la alimentación tradicional baja cantidad de forraje y alta cantidad de concentrado (entre 5.0 y 9.0 kg/vaca/día). En el altiplano de México, la evaluación de estrategias de alimentación en ganado lechero ha sido dirigida hacia el estudio del desempeño económico y productivo principalmente, estas se han basado en el pastoreo de praderas mejoradas (Ryegrass perenne y trébol blanco) y la suplementación de concentrado comercial (Arriaga-Jordán et al., 2001; 2002) y de ensilados (Garduño-Estrada et al., 2007; Hernández-Ortega et al., 2011), sin embargo, el estudio del estado mineral y su relación con parámetros productivos no ha sido abordado.

De acuerdo con Arriaga-Jordán et al. (2001), la limitación del aporte de concentrado complementario al pastoreo en el ganado lechero es capaz de cubrir los requerimientos nutricionales del animal, y en este sentido la evaluación de la nutrición mineral podría ser un elemento crucial para identificar su impacto en el desempeño productivo de los bovinos lecheros. El objetivo de presente trabajo fue evaluar la relación entre los parámetros productivos y la concentración mineral en suero sanguíneo de vacas Holstein en pastoreo suplementadas con distintos niveles de concentrado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Fisiología de la producción de leche de vaca

La producción de leche en los mamíferos se produce en función del número de células mamarias secretoras y de la actividad secretora por célula (Capuco et al., 2001). La glándula mamaria se desarrollará, inicialmente con el animal, incrementando los ritmos de crecimiento durante la pubertad, aunque es durante la gestación cuando se produce su mayor crecimiento. No obstante, hasta los seis años podemos distinguir un cierto nivel de desarrollo de la glándula. El número de células mamarias secretoras activas en las diferentes etapas de lactación están determinadas por el balance entre las tasas de proliferación y quiescencia en las células no secretoras (Knight, 2000). La proliferación, proceso donde las células mamarias indiferenciadas progresan a un estado de secreción activo, ocurre en una tasa exponencial desde el inicio de la gestación y alcanza un máximo después del parto cuando el número de células mamarias están en mayor número (Knight y Wilde, 1993).

En las diferentes especies de interés productivo, la curva de lactación, y en concreto la “subida de la leche” que se produce tras el parto, tiene ciclos y características bien diferenciadas. La secreción de leche, una vez iniciada la lactación, es continua pero relativamente lenta en términos de volumen de líquido excretado por unidad de tiempo. En toda la lactación, la secreción de leche a través de diferentes rutas secretoras, dentro y a veces entre las células epiteliales mamarias, es una mezcla compleja que comprende membranas de gotitas de grasa, micelas de caseína y una fase acuosa que contiene lactosa, y en ocasiones, hidratos de carbono complejos, minerales en forma de iones, otras proteínas y una gran variedad de componentes solubles (Grosvenor et al., 1992; Peaker y Neville, 1991).

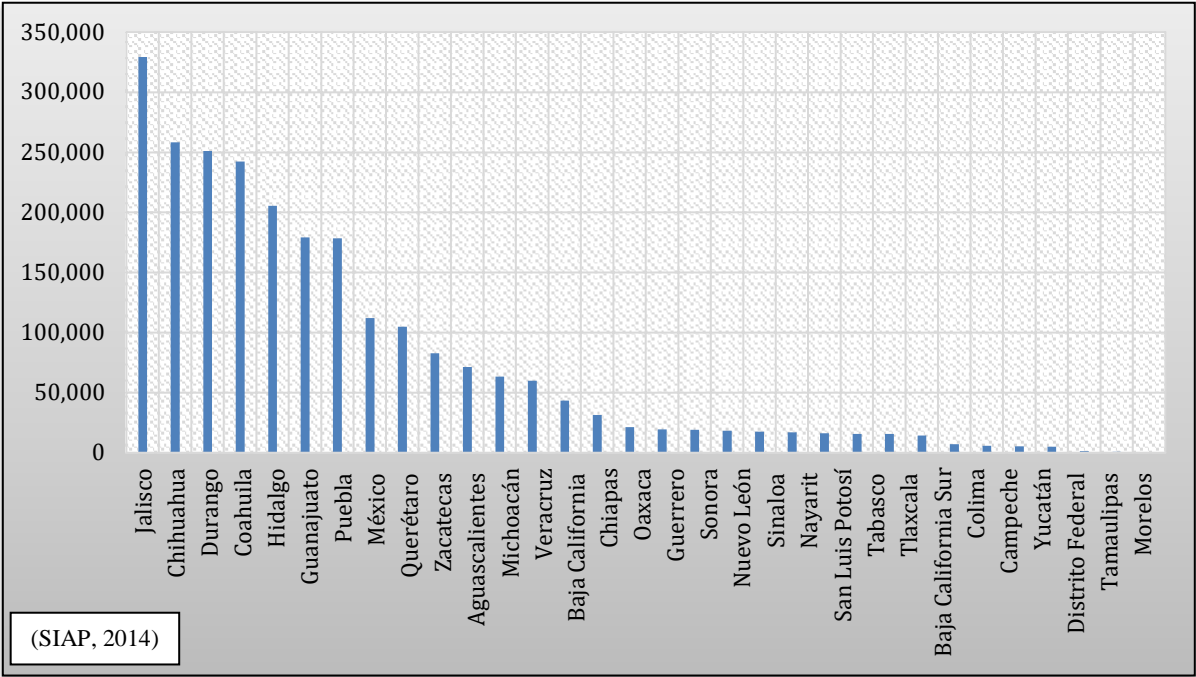
De manera general, como la secreción de los componentes de la leche es coordinada a nivel celular, entender el mecanismo de formación y de cómo son secretados sus componentes, sigue siendo objeto de investigación. En componentes como la grasa, el entendimiento de la estructura y secreción de su membrana globular de la fracción o gota de grasa y de su composición de ácidos grasos es una de las áreas de mayor importancia en la industria lechera, porque la naturaleza de su fracción influye en la fabricación y propiedades organolépticas de los productos lácteos, además de contar con la presencia de componentes funcionales.

#### 2.1.1. Situación actual de la producción de leche en México

La producción de leche a nivel nacional por entidad federativa se muestra en la Figura 1. El Estado de Jalisco (329,189 L) tiene la más alta producción de leche registrada



del año 2008 hasta agosto de 2014, seguido de Chihuahua (258,069 L), Durango (250,973 L) y Coahuila (242,188 L). El Estado de México con 111,867 L, representa el 4,6% de la producción nacional, ocupa el octavo sitio a nivel nacional, le superan Hidalgo (205,511 L), Guanajuato (179,087 L) y Puebla (178,330 L) (SIAP, 2014).



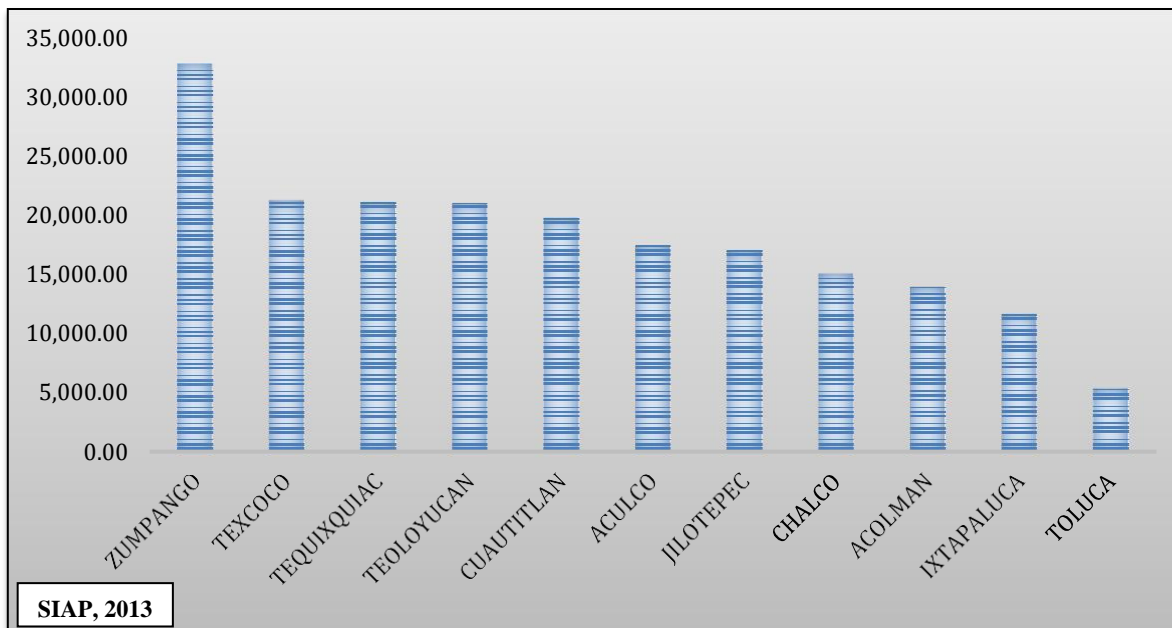
**Figura 1.** Producción de leche por entidad federativa en México (Litros) (Información año 2008 al 31 de agosto del 2020)

Al interior del Estado de México, el principal municipio productor de leche es Zumpango (32,796.0 L), Toluca se encuentra en el lugar 24 con 5383.467 L (Figura 2) (SIAP, 2013).

**2.2. Valor nutricional de la leche**

La leche es un complejo en dispersión acuosa heterogénea que contiene grasa en emulsión, gotas de grasa rodeadas por una membrana lipoproteica que se mantiene en emulsión por la carga de su envoltura, proteínas en estado coloidal, caseínas, albúminas, globulinas y proteínas del suero en solución, junto con compuestos solubles de naturaleza orgánica e inorgánica que incluyen minerales, vitaminas hidrosolubles y compuestos nitrogenados no proteicos (Gravert, 1987). Desde el punto de vista cualitativo, la leche de todas las especies tiene una composición semejante, aunque cuantitativamente, la composición de las diversas fracciones como proteína y grasa, varía en las distintas

especies, lo cual puede ser debido a diferentes factores: raza, periodo de lactación, alimentación, manejo, etc. Por ello es difícil hablar de una composición constante.



**Figura 2.** Principales municipios productores de leche en el Estado de México de 2008 a 2020 (Litros)

### 2.2.1. Proteína

Aproximadamente el 95% del nitrógeno de la leche se encuentra en forma de proteína, el resto se encuentra en forma de urea, creatina, glucosalina, amoniaco, etc, que pasan de la sangre a la leche. Entre los diferentes grupos de proteínas sintetizados en las células epiteliales de la glándula se distinguen seis grupos principales:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ -caseínas,  $\beta$ -lactoalbuminas y  $\alpha$ -lactoalbuminas (Mephan, 1982). Estas proteínas mayoritarias se complementan con proteínas procedentes del plasma (plasminas y plasmógenos) y por fosfolípidos y péptidos procedentes de diversos proceso metabólicos. Los aminoácidos se absorben por la glándula mamaria en cantidades suficientes para sintetizar la totalidad de la proteína, teniendo lugar una notable interconversión entre aminoácidos antes de ser utilizados para la síntesis proteica, siendo importantes algunos aminoácidos como precursores de otros.

### 2.2.2. Lactosa

La lactosa es un disacárido presente en la leche de los mamíferos que supone la mayor fuente de hidratos de carbono durante la lactancia. La lactosa, principal carbohidrato de la leche, se sintetiza en la glándula mamaria a partir de la glucosa y galactosa, y su contenido varía en las diferentes especies entre un 2.8 y 7.0 %. En ganado vacuno, su

contenido presenta en un rango (4.8-5.2 %; Johnson, 1978) y constituye entre 50-52 % de los sólidos totales de la leche. Los principales precursores de la lactosa son D-glucosa plasmática (80%) y la D-galactosa. El resto se origina a partir de otros precursores plasmáticos (galactolípidos, cerebrósidos y galactoproteínas). La lactosa se sintetiza junto con las proteínas de la leche en el aparato de Golgi (Kuhn et al., 1980) y los procesos bioquímicos que conducen en su formación han sido extensamente revisados (Jones, 1977; Nickerson, 1978).

A pesar de que la lactosa es la que presenta una proporción más constante dentro de los sólidos lácteos, su concentración puede verse modificada por una serie de factores. De alguna forma, la lactosa, junto con algunas proteínas plasmáticas, participa en el equilibrio iónico de la leche. La variación diaria o individual de la concentración de lactosa está inversamente relacionada con la concentración del sodio y el potasio (Peaker, 1977).

La concentración en la fase acuosa de sodio y cloro aumenta, y la de potasio y lactosa disminuyen con la consiguiente modificación de la concentración de lactosa (Oshima y Fuse, 1976). La influencia de la alimentación sobre la concentración de lactosa en leche no está claramente demostrada, aunque la información existente parece indicar que un incremento en el aporte energético reduce su concentración (Argamentería et al., 2006). Por otra parte, la utilización de dietas ricas en concentrados provoca ligeros incrementos (0.22%) en la concentración de lactosa mientras el de grasa total y de ácidos grasos de cadena larga, conllevan a un descenso relativo en dicha concentración.

### **2.2.3. Grasa**

La grasa es el principal componente energético en la leche, responsable de muchas de las propiedades físicas y cualidades organolépticas de la leche y los productos lácteos. La mayor parte de los lípidos en la leche se encuentran en forma de glóbulos grasos (2-3  $\mu\text{m}$  de diámetro), el resto lo constituyen fragmentos de membrana de los glóbulos de grasa que contienen una gran cantidad de ácidos grasos (AG) saturados e insaturados. En los mamíferos la grasa de la leche de los mamíferos está predominantemente compuesta aproximadamente en un 95% por triglicéridos. El resto de los lípidos incluyen fosfolípidos (0.5-1%), glicolípidos (0.06%), colesterol (0.3%) y trazas de ácidos grasos libres (0.1-0.4%) (Renner, 1982).

La composición de AG en la leche difiere entre especies (Dils, 1986; Iverson y Oftedal, 1995), y para una misma especie el porcentaje de grasa variará con la raza. Así, entre las principales razas de vacuno lechero, la Holstein presenta la menor proporción media (37.0 g/kg), mientras que la parda alpina presenta un 41.6 g/kg y las denominadas razas mantequeras superiores aún, 48.7 y 51.3 g/kg en las razas Guernsey y Jersey, respectivamente (Gibson, 1989). Dentro de cada raza, se han descrito variaciones individuales con la fase de lactación y la edad. En una fase inicial de lactación, el

porcentaje de grasa en leche es elevado, reduciéndose posteriormente (2 a 3 meses) para incrementar posteriormente de forma gradual. Finalmente hay un ligero incremento en el porcentaje de grasa con la edad, hasta que el animal alcanza su madurez (3 años). Posteriormente va a declinar de forma paulatina (0.2 %/lactación), siendo esta disminución paralela a la de los sólidos no grasos.

#### **2.2.4. Vitaminas**

Las vitaminas no se sintetizan en la glándula mamaria, de modo que las existentes se absorben de la sangre. Las vitaminas liposolubles (A, D, E y K) están asociadas al componente graso, mientras que las vitaminas hidrosolubles (complejo B y vitamina C) se encuentran en la parte no grasa. La concentración de las vitaminas liposolubles depende de su presencia en la dieta animal. Las vitaminas hidrosolubles y la vitamina K en condiciones normales no dependen de la dieta, ya que pueden ser sintetizadas por la flora ruminal.

#### **2.2.5. Minerales**

Los minerales representan una pequeña fracción de los sólidos de la leche. Su concentración es de, aproximadamente, 7 a 9 g/kg. Esta fracción tiene una gran importancia nutricional, en particular por los aportes de calcio y fósforo. La digestibilidad del calcio y fósforo es generalmente alta, en parte debido a que se encuentran en asociación a otros componentes, como la caseína. En una leche sin alteraciones, el 65% del calcio, el 60% del magnesio y el 50% del fósforo se encuentran asociados a las caseínas (en forma coloidal). La leche es la mejor fuente de calcio para el crecimiento del esqueleto del lactante y el mantenimiento de la integridad de los huesos en el adulto. Los minerales pasan de la sangre a la leche mediante sistemas de transporte activos, aspecto que explica las diferencias de concentración mineral entre la sangre y la leche, el calcio 12 veces, el fósforo 7 veces y el magnesio 6 veces. En vacas en lactación, grandes cantidades de calcio y fósforo son secretadas en la leche. El contenido de minerales en la leche depende de la etapa de lactación, el estado de salud del animal, la raza, pero sobre todo del aporte mineral en la dieta de los animales (Spreer, 1991; Schilimne y Buchheim, 2002; Walstra et al., 2001).

### **2.3. Factores que influyen sobre la producción y composición de la leche**

Ante los desafíos económicos que enfrenta la producción lechera hoy en día, los productores de leche se han visto obligados a buscar la mejor manera de aumentar su rentabilidad para permanecer en el negocio. En esta búsqueda intervienen múltiples factores que favorecen o demeritan la finalidad de optimizar en primera instancia la producción de leche, esos factores son inherentes a la composición y calidad del producto final.

#### **2.3.1. Factores intrínsecos**

### *2.3.1.1. Etapa de lactación*

Las curvas típicas de lactación en vacas lecheras muestran un pico máximo en la producción entre la cuarta y la octava semana después del parto, seguido de un descenso en el rendimiento y producción de leche, en donde las vacas son secadas o la lactación es terminada naturalmente (Keown et al., 1986). La producción de leche incrementa continuamente durante la lactación, las primeras semanas de lactación la leche puede contener 1-2% de grasa, mientras que en el final de la lactación la grasa puede ser del 5-10%. Craninx et al. (2008) reportaron que el contenido de la grasa en leche muestra una disminución rápida durante las primeras semanas después del parto, hasta llegar al mínimo aproximadamente en la semana 14 de lactación en vacas en estabulación con dietas balanceadas, y aproximadamente en la semana 10 en vacas en pastoreo.

### *2.3.1.2. Raza o Genotipo*

Raza lechera es un grupo genético que puede producir por lo menos el equivalente a 8 veces su peso en leche líquida por lactancia. Existe gran diferencia entre razas en cuanto a concentración de sólidos totales y producción en volumen de leche. Algunas razas han avanzado más que otras, y al menos una se ha consolidado en la primera posición en el ámbito mundial, tal es el caso de la Holstein-Friesian en zonas templadas y otras razas se proyectan y consolidan en las regiones del trópico, como son el ganado Pardo Suizo y Jersey.

Con el objetivo de determinar los efectos de la semana de lactación y selección genética (alto o bajo valor genético) para incrementar el rendimiento de leche sobre la producción y composición Kay et al. (2005) observaron que vacas con mejora genética mostraron mayor producción y contenido de componentes (proteína, grasa y lactosa) en leche en comparación con vacas control (sin selección genética) (44.4 vs 31.2 kg de leche/d, respectivamente).

La variante americana de la raza Holstein-Friesian, es la que ostenta el más alto peldaño en cuanto a rendimiento lechero de todas las razas del mundo. El promedio base actualizado, sigue siendo el de 1982, dicho promedio, fue de 7,899 kg por lactancia en 305 días y en 2 ordeños por día, con 288 kg de grasa y ajustado a "Equivalencia de Madurez". Aunque los promedios del Dairy Herd Improvement Registry (DHIR) son de 1986 y 1987, reportándose promedios de 8,771 kg de leche con 318 kg, de grasa. Numerosos rebaños en diversos países, pero sobre todo en los E.U.A. rebasan dicho promedio, encontrándose hatos con 11,000 ó 12,000 kg de leche por vaca y lactancia (Avila y Gasque, 2009).

Por lo que a peso se refiere la raza Jersey en estado adulto es la más ligera de todas las razas lecheras, no obstante su rendimiento lechero con relación a su peso compite con el de la raza Holstein-Friesian. Respecto a su leche, se trata de la más rica en grasa y sólidos totales de todas las razas, 3.7% de proteína y 4.7% de grasa en promedio. Los sólidos no

grasos (proteína, azúcares, minerales) totalizan 9.7% para un promedio de 14.1% de sólidos totales. Aunque el promedio de la raza es de 6,265 kg por lactancia en los E.U.A. y de 4,580 kg por lactancia para el ganado canadiense, el registro DHIR que enrola al 1% de los criadores superiores, da un promedio actualizado de 6,170 kg por vaca por lactación (Avila y Gasque, 2009).

El rendimiento lechero de las vacas Pardo Suizo, a los 6 años de edad promedio, es de 6,779 kg de leche, con 4% de grasa, pero el promedio individual de la raza según el DHIR es de 6,130 kg. El promedio ajustado a equivalente de madurez es de 7,130 kg con 4% de grasa. El promedio del ganado Suizo Mexicano es irrelevante, ya que no se le explota a esta raza como lechera en sistema intensivo como en el caso del ganado en los E.U.A. sino que se explota como un doble propósito marginal (entre 1,500 a 2,000 kg lactancia) aunque en regiones tropicales se reportan promedios de 3,200 a 4,000 kg de leche para esta raza, lo cual no se puede dudar, dada la buena adaptación que ha mostrado en los climas cálidos (Avila y Gasque, 2009).

### **2.3.2. Factores extrínsecos**

#### *2.3.2.1. Época del año*

En cualquier sistema de producción láctea el comportamiento reproductivo del hato es sin duda uno de los factores que afecta directamente la productividad de la explotación, por esto es importante lograr un patrón de partos altamente concentrado en la época de mayor producción de materia seca de las praderas. De esta forma se disminuyen los costos de producción, permitiendo que la pradera de utilización directa se convierta en la principal fuente de nutrientes para el ganado. Dado que los animales permanecen gran parte del tiempo en la pradera, se facilita a su vez el reciclaje de nutrientes hecho que también tiene una repercusión económica importante (Humberto H. y Gonzales, 2008) Las ventajas de la parición temprana (julio – agosto) han sido discutidas ampliamente desde el punto de vista productivo así como desde su implicancia reproductiva. (Humberto H. y Gonzales, 2008)

#### *2.3.2.2. Alimentación*

Diversos experimentos han reportado que vacas alimentadas en confinamiento producen más leche que aquellas consumiendo pasto como única fuente de nutrientes (Rust et al., 1995; Kolver y Muller, 1998a), no obstante, Bela et al. (1995) no reportaron diferencias significativas entre los dos sistemas. Otros estudios donde han evaluado la transición de la alimentación del ganado en confinamiento a sistema de pastoreo no notado un marcado decline en la producción de leche (Hoffman et al., 1993; Fales et al., 1995). Comparaciones entre estudios con ambos sistemas han mostrado diferencias en cuanto al comportamiento reproductivo, mastitis, conteo de células somáticas y salud de la vaca a favor de los sistemas basados en el pastoreo (Bela et al., 1995). Otras investigaciones también han mostrado que el ganado en pastoreo tiene menor índice de condición corporal

comparado con los sistemas en confinamiento (Kolver y Muller, 1998a); sin embargo, Rust et al. (1995) y Parker et al. (1993) no observaron éste efecto.

Rust et al. (1995) condujeron un estudio donde las vacas fueron mantenidas en un sistema de confinamiento tradicional y otras en pastoreo suplementadas con concentrado balanceado rico en cereales, observaron que las vacas en confinamiento produjeron 7% más leche. Los porcentajes de grasa y proteína en la leche producida no fueron diferentes en los dos sistemas. Las vacas en pastoreo consumieron menos grano que las confinadas, indicando que las primeras estuvieron consumiendo un mayor porcentaje de su ración como forraje fresco. Esto podría significar que las vacas en pastoreo estuvieron consumiendo menos energía, lo cual explica los bajos niveles en la producción láctea.

Los sistemas basados en pastoreo en el altiplano central de México enfrentan un problema, y es la baja disponibilidad de forraje en invierno y antes de la primavera que comprende desde noviembre hasta mayo (Anaya-Ortega, 2009). La utilización de ensilado de maíz en esta época contrarresta la baja de producción de forraje en la época de estiaje, sin afectar en gran medida sobre los costos de alimentación, ya que el ensilado de maíz es caracterizado por su gran concentración de carbohidratos solubles aunado a su buena fermentación y alta degradabilidad en rumen.

Las vacas en pastoreo también tienen mayor requerimiento de energía para mantenimiento que el ganado estabulado debido al gasto extra en la caminata que es requerido desde o para llegar a la pradera y para la actividad misma del pastoreo. Esto significa que las vacas en pastoreo tienen menos energía disponible para la producción de leche.

Zartman y Shoemaker (1994) condujeron un estudio observacional durante cuatro años utilizando vacas Holstein y Jersey en E.U.A. Los partos de las vacas fueron en primavera y estuvieron pastando de abril a noviembre y alimentadas con un suplemento a base de granos alrededor de un año. Los patrones de producción fueron similares entre vacas en ambas razas, teniendo el pico de producción a los 60 días en lactación, con un lento pero constante declive en la producción de leche durante la lactancia, los porcentajes de grasa y proteína en leche fueron ligeramente más bajos que para los promedios de las dos razas. Hoffman et al. (1993) examinaron la producción de leche de vacas Holstein alimentadas con tres diferentes suplementos durante 24 semanas y no observaron diferencias, pero los autores notaron que la producción disminuyó rápidamente durante las primeras ocho semanas del estudio para todos los tratamientos.

En el proceso de transición de la alimentación del ganado lechero con dietas completas mezcladas (TMR, por sus siglas en inglés) hacia un sistema de alimentación todo pastoreo (sin suplemento) mediante la reducción de la TMR en un periodo de cuatro semanas, se reportó que las vacas en pastoreo produjeron 33% menos leche que aquellas alimentadas con TMR (29.6 vs. 44.1 kg/d, respectivamente). En las vacas en pastoreo se redujo la

producción de leche de 46.3 a 29.6 kg/d en el periodo de cuatro semanas. No hubo diferencias en el porcentaje de grasa en leche entre los dos grupos, sin embargo, las vacas alimentadas con TMR tuvieron un mayor porcentaje de proteína en leche que aquellas en pastoreo (2.8 vs 2.6, respectivamente) (Kolver y Muller, 1998b). Los autores determinaron que la cantidad de energía metabolizable consumida fue el factor limitante en las vacas en pastoreo, y fue la razón por la menor producción de leche. El tipo y suministro de proteína metabolizable y aminoácidos no parece ser un factor principal en la reducida producción de leche entre las vacas alimentadas en condiciones de pastoreo.

#### 2.4. Importancia de la alimentación mineral en los bovinos

Los minerales, son elementos inorgánicos que se encuentran en la corteza terrestre (NRC, 2005), para que sean biodisponibles deben ser ingeridos, transportados al sitio de acción y convertidos en una forma fisiológicamente activa (Spears, 1994), donde juegan un papel metabólico en el organismo (McDowell *et al.*, 1984); los animales pueden absorberlos en forma iónica, quelatada o como complejo soluble (Spears, 1994), estos deben estar presentes diariamente en las dietas en cantidades y proporciones adecuadas (Vargas y Fonseca, 1989), ya que los desbalances, sean por deficiencia o exceso, provocan alteraciones en el organismo (Underwood y Suttle, 1999). En el Cuadro 1 se muestran los requerimientos de minerales de bovinos productores de leche con distinto nivel de producción y genotipo.

**Cuadro 1.** Requerimientos de minerales de vacas lecheras en lactación (adaptada de NRC, 2001).

	<i>Holstein: 680 kg PV, Grasa en leche: 3.5%, Proteína verdadera en leche: 3.0%, Lactosa en leche: 4.8%</i>		<i>Jersey: 454 kg PV, Grasa en leche: 4.2%, Proteína verdadera en leche: 3.6%, Lactosa en leche: 4.8%</i>	
Producción de leche (kg/d)	25	35	25	35
Ca absorbible, g/día	32.1	65	50.7	65.2
Ca dietético, %	0.62	0.61	0.57	0.57
P absorbible g/ día	44.2	56.5	41.4	54.1
P dietético, %	0.32	0.35	0.33	0.37
Mg, %	0.18	0.19	0.18	0.19
Cl, %	0.24	0.26	0.24	0.26
K, %	1	1.04	1.02	1.03
Na, %	0.22	0.23	0.2	0.2
S, %	0.2	0.2	0.2	0.2
Co, mg/kg	0.11	0.11	0.11	0.11
Cu, mg/kg	11	11	10	10
I, mg/kg	0.6	0.5	0.44	0.4
Fe, mg/kg	12.3	15	14	16
Mn, mg/kg	14	14	12	12
Se, mg/kg	0.3	0.3	0.3	0.3
Zn, mg/kg	43	48	45	49



## 2.4.1. Macrominerales

### 2.4.1.1. Calcio (Ca)

El Ca representa el 2% del peso corporal, considerado el mineral más abundante del organismo animal (NRC, 1996), entre el 98 y 99% se encuentra en huesos y dientes y el restante se localiza en tejidos blandos y fluidos del cuerpo, donde se encuentra como iones libres unidos a proteínas plasmáticas, especialmente la albumina, o en forma de complejos de ácidos orgánicos e inorgánicos (McDowell y Arthington, 2005; NRC, 2005), la prioridad de todos los mamíferos es mantener concentraciones de Ca en plasma y fluidos extracelulares cerca de 10 mg/dL (Hurwitz, 1996). La función principal del Ca es proporcionar un armazón fuerte para soportar y proteger a los órganos más delicados, para articular y permitir el movimiento y para ser maleable y así permitir el crecimiento del animal (Underwood y Suttle, 1999). El Ca ionizado representa entre el 50 y 60% del total de Ca que participa en los procesos de contracción muscular, transmisión de impulsos nerviosos y actúa como un cofactor para varias reacciones enzimáticas (Vitti y Kebreab, 2010), así también participa en la coagulación sanguínea normal, la acción rítmica del corazón y la permeabilidad de las membranas (Hurwitz, 1996; McDowell y Arthington, 2005).

El esqueleto óseo sirve como reserva de Ca (NRC, 1996), sin embargo, la movilización o resorción de los minerales no ocurre del mismo modo en las diferentes partes del esqueleto adulto, los huesos esponjosos, costillas, vertebras, esternón y partes distales de los huesos largos, donde el contenido de cenizas es menor, son los primeros afectados, y las partes más compactas de los huesos largos y los huesos más pequeños de las extremidades son los últimos (Underwood y Suttle, 1999); la capacidad de movilización del Ca disminuye con la edad (Ramberg *et al.*, 1976). En general, el hueso en base seca está compuesto de alrededor de 46% de elementos minerales, 36% de proteínas y 18% de grasas; los minerales que se encuentran en mayor cantidad en las cenizas de los huesos son el Ca (36%) y el P (17%) (Mc Dowell, 1985; Underwood y Suttle, 1999).

Por otro lado, la composición química, la solubilidad, la biodisponibilidad y la granulometría son importantes para la selección de fuentes de Ca en la alimentación animal, cabe destacar que la solubilidad es un factor determinante, ya que está estrechamente relacionada con la biodisponibilidad y absorción intestinal (Fassani *et al.*, 2004). El coeficiente de absorción medio del Ca es 0.68 para todos los alimentos, incluyendo los forrajes (Underwood y Suttle, 1999), la digestibilidad verdadera y absorción de Ca en fuentes inorgánicas puede ser de un 50% o más que las fuentes orgánicas (Kiarie y Nyachoti, 2010), la cual se realiza principalmente en forma iónica a nivel del píloro e intestino delgado (duodeno y yeyuno) por mecanismos de transporte activo y difusión pasiva (Church *et al.*, 2006), controlada por la hormona paratiroidea (HPT) y la forma fisiológicamente activa de la vitamina D<sub>3</sub>, 1,25-dihidroxicolecalciferol (calcitriol, 1,25-

(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>) (Underwood y Suttle, 1999), donde actúa lentamente, abriendo los canales de Ca y facilitando su captación, con ayuda de la proteína transportadora de Ca (calbindina) (Hurwitz, 1996). El Ca se secreta en leche y se excreta en heces, orina y sudor (Georgievskii *et al.*, 1982; Church *et al.*, 2006), por vía fecal es baja en rumiantes y apenas se ven afectadas por la ingestión o el balance orgánico del Ca, mientras que en la orina y el sudor se vuelven importantes en la acidosis metabólica de vacas en producción láctea (Underwood y Suttle, 1999), la inactividad física incrementa su excreción (Church *et al.*, 2006).

La carencia de Ca en las dietas favorece su absorción, así también en rumiantes adultos durante la preñez y lactancia (Georgievskii *et al.*, 1982), conforme aumenta el porcentaje de Ca de la dieta, la proporción absorbida tiende a declinar (Church *et al.*, 2006), cantidades elevadas de Ca pueden causar la formación de sales insolubles, reduciendo la absorción de P (Vitti y Kebreab, 2010) y causando desequilibrios en la absorción de Mg, Fe, I, Zn y Mn (Underwood y Suttle, 1999; McDowell y Arthington, 2005).

El consumo inadecuado de Ca es causa de debilidad ósea, crecimiento lento, baja producción láctea (McDowell y Arthington, 2005), y en deficiencias crónicas se manifiestan cambios químicos, físicos, histológicos y radiológicos, que reflejan una reducción en la mineralización de los huesos (Underwood y Suttle, 1999), raquitismo en animales jóvenes y osteomalacia e hiperparatiroidismo en adultos (Church *et al.*, 2006), así mismo puede producir enfermedades metabólicas como la fiebre de leche (hipocalcemia) en vacas al inicio de la lactación (0.4-0.5 mg dL<sup>-1</sup> de Ca en plasma sanguíneo), también existe riesgo de sufrir paresia asociada a hipocalcemia en rumiantes recién destetados que se llevan a los corrales de engorda; la falta de Ca en el ganado en pastoreo es un problema mucho menor que una deficiencia de P (Underwood y Suttle, 1999), por el contrario, el exceso en el consumo de Ca, además de evitar la absorción de algunos minerales, puede causar calcificación en sitios de daño celular y por lo tanto en tejido vivo, tumores en la tiroides en respuesta a la hiperactividad, cálculos urinarios (Church *et al.*, 2006) y puede predisponer a las vacas a sufrir fiebre de leche (Ender *et al.*, 1956), dietas con altas concentraciones de Na y K tienden a inducir ésta enfermedad, mientras que altos contenidos de Cl y S la previenen (McDowell y Arthington, 2005). El nivel máximo tolerable de Ca es 2% para bovinos, pero niveles máximos no se consideran tóxicos gracias a los mecanismos homeostáticos para su excreción (Underwood y Suttle, 1999).

Los forrajes son una fuente importante de Ca para el ganado en pastoreo, sobre todo cuando contienen especies leguminosas (Underwood y Suttle, 1999), sin embargo, su absorción por el animal depende del contenido de oxalatos, fitatos, fosfatos y sulfatos (Soares, 1995); como regla general se considera que las hojas contienen dos veces más Ca que el tallo y en éste disminuye a medida que avanza la maduración (Underwood y Suttle, 1999). En la planta el Ca es componente del ácido galacturónico de pectina y el resultado es un importante componente de la lámina media de las paredes celulares, participa en el

crecimiento de los meristemos y ápices radicales, ayuda en el mantenimiento de la integridad y selección de membranas y es requerido por numerosas enzimas incluyendo la amilasa y algunas nucleasas (Clarkson y Hanson, 1980; Georgievskii *et al.*, 1982; Blevins, 1994; Brady y Weil, 1999).

La deficiencia de Ca en las plantas es rara, aunque puede presentarse debido a la baja movilidad de este elemento en la planta cuando el pH del suelo es muy ácido (<5.0) (Georgievskii *et al.*, 1982), también se atribuye a que en el mejoramiento genético de los cultivos ornamentales los híbridos presentan una mayor acumulación de biomasa, altas tasas de crecimiento (Beattie y White, 1993) y mayor necesidad de nutrientes, lo que promueve una mayor demanda nutrimental (Bass *et al.*, 2000). Esto explica por qué en las mismas condiciones de crecimiento algunos cultivares de la misma especie desarrollan su ciclo en forma óptima, en tanto que otros presentan deficiencias si no reciben fertilizaciones complementarias (Baligar *et al.*, 2001). La aplicación de cal o piedra caliza para corregir la acidez del suelo tiene poco efecto sobre el contenido de Ca de los forrajes (Whitehead, 2000), posiblemente porque también existe un incremento en la producción (Underwood y Suttle, 1999). En suelos calcáreos el Ca se encuentra en forma de carbonato de calcio, en suelos de regiones áridas y semiáridas el Ca se encuentra en forma de yeso (Whitehead, 2000); los suelos livianos presentan contenidos de Ca menores en promedio que los suelos pesados (Ungerfeld, 1998).

#### 2.4.1.2. Fósforo (P)

El metabolismo del P está estrechamente relacionado con el del Ca, ya que la deficiencia o exceso de alguno en el organismo interfiere con la utilización y metabolismo del otro (Kebreab y Vitti, 2005). El P constituye el 1% del cuerpo, éste se localiza principalmente en el esqueleto (80%) y el restante está distribuido entre los tejidos blandos y concentrado especialmente en los glóbulos rojos y en los tejidos muscular y nervioso (McDowell, 1992); la concentración de P en el suero sanguíneo de bovinos es de 4 a 8 mg dL<sup>-1</sup>, aunque los animales jóvenes presentan concentraciones superiores comparadas con los adultos (6 a 8 vs 4 a 6 mg dL<sup>-1</sup>); la sangre completa contiene de seis a ocho veces más P que el suero sanguíneo, por su alta concentración en eritrocitos (NRC, 2001); también este mineral se encuentra de 4 a 16 veces más alto en la saliva que en el plasma (Scott, 1988). El P es un nutriente esencial utilizado para el desarrollo de los huesos, crecimiento, producción y reproducción óptima del ganado, participa en la regulación del pH de la sangre y otros fluidos, y en el metabolismo de proteínas (McDowell y Arthington, 2005; Garmendia, 2007); también participa en reacciones de transferencia y utilización de energía, influye directamente sobre la ganancia de peso corporal (Call *et al.*, 1978) y producción láctea (Church y Pound, 1987), en el rumen es esencial para el crecimiento microbiano, especialmente los microorganismos que digieren la celulosa de las plantas ingeridas (Knowlton *et al.*, 2010); el P está presente en las células como en los ácidos nucleicos, nucleótidos, fosfolípidos y numerosos componentes fosforados que cumplen una

función metabólica (Soares, 1995; Veum, 2010). La reserva de P en los animales, al igual que de Ca, se encuentra en el esqueleto óseo como hidroxapatita, fosfato tricálcico y fosfato de magnesio (Knowlton *et al.*, 2010).

La absorción del P ocurre principalmente en el duodeno y yeyuno del intestino delgado de rumiantes, pero depende de la cantidad consumida, a mayor consumo disminuye su coeficiente de absorción, también se afecta cuando la relación Ca:P está desequilibrada por encima de 7:1 o por debajo de 1:1 (McDowell y Arthington, 2005); sin embargo, Pfeffer *et al.* (2005) mencionaron que la absorción de éste mineral es independiente del exceso de Ca; también son más eficientes los terneros (94%), que los adultos (58%) para aprovechar el P disponible (ARC, 1980). En alimentos con altas concentraciones de Fe, Al, Mn, K y Mg la absorción de P es baja (Underwood y Suttle, 1999). Los animales de granja desechan de 60 a 80% del P que consumen (Knowlton *et al.*, 2010), contaminando suelos y mantos acuíferos, por lo que al formular una dieta se debe considerar la fuente y cantidad para evitar el desperdicio. Cabe mencionar que entre 85 y 90% del P es reabsorbido durante la filtración glomerular en el riñón (Kumar, 1995).

La deficiencia mineral más común en el mundo es la de P (McDowell y Arthington, 2005), en los bovinos se caracteriza por la disminución del contenido del mineral en los huesos, causa pérdida de resistencia con fracturas espontáneas, aumento de volumen en las articulaciones, especialmente en las extremidades anteriores, cojera y dificultad al caminar, con deficiencias severas se manifiesta raquitismo y osteomalacia (Vrzgula, 1990), en el ganado se observa anorexia, crecimiento lento, baja conversión alimenticia, baja producción láctea, pérdida de peso, osteofagia, hemoglobinuria puerperal, alteraciones del metabolismo energético, fragilidad eritrocitaria (NRC, 2001; Forchetti *et al.*, 2006), los parámetros reproductivos se ven afectados teniendo anestros prolongados, repetición de celos, reabsorción embrionaria y bajas tasas de concepción (Garmendia, 2007), asimismo el ovario es un órgano exigente en fósforo y en consecuencia, estados de deficiencia retrasan el inicio de la actividad ovárica y por periodos prolongados puede ocasionar daño permanente a los órganos reproductivos (Butler, 2000).

Los animales en pastoreo obtienen el P principalmente del forraje que consumen, más de 70% de estos forrajes no cubren los requerimientos mínimos para una producción óptima (McDowell y Arthington, 2005), sobretodo en regiones tropicales y subtropicales, donde es el mineral más limitante para el crecimiento óptimo de leguminosas (Raghothama, 1999); estas regiones se caracterizan por sus altas concentraciones de Fe y Al en el suelo que impide la utilización de P por las plantas (Garmendia, 2007). Por otra parte, en forrajes maduros y rastrojos la concentración de P es baja, pero los granos de cereales, harinas y aceites de semillas contienen niveles de moderados a altos de este mineral (NRC, 2001); los cambios climáticos como períodos prolongados de sequía son responsables de modificaciones en los niveles de P en las pasturas (Zamalvide, 1995).

El P en los vegetales forma parte de estructuras biológicas, ayuda a que las raíces y las plántulas se desarrollen más rápidamente, mejora la eficiencia de uso del agua, acelera la maduración y es vital en la formación de semillas (Roberts, 1997), también juega un rol importante en la fotosíntesis, respiración y regula numerosas enzimas (Raghothama, 1999); la deficiencia de P afecta al crecimiento y metabolismo de las plantas, también reduce la expansión foliar, causa menor número de hojas, senescencia prematura, poco crecimiento aéreo y radical, color más intenso (Chiera *et al.*, 2002; Bernal *et al.*, 2005), los daños derivados por la deficiencia de P dependen de la especie, género, etapa de desarrollo y del grado y duración del periodo de deficiencia (Marschner, 1995). El P es el mineral que está en menor cantidad en el suelo entre los elementos esenciales en la nutrición de la planta (Schachtman *et al.*, 1998), además, la mayor parte del P del suelo está en compuestos orgánicos e inorgánicos no asimilables, las plantas sólo pueden asimilar ortofosfato (Pi, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), cuya concentración rara vez excede 10 µM en la solución del suelo (Holford, 1997), valores altos de pH generalmente son desfavorables a la solubilidad de éste mineral (Havlin *et al.*, 1999).

#### 2.4.1.3 Potasio (K)

El K es el mineral es el más abundante en el cuerpo animal, actuando como mediador varios sistemas enzimáticos, del balance osmótico y equilibrio ácido-base (McDowell y Arthington, 2005). Los requerimientos para rumiantes se estima entre 0.5 y 1.0%, y para animales sometidos a estrés calórico es en promedio 1.2%, ya que estudios demuestran que animales sometidos a estrés incrementan su eliminación por la orina y en enfermedades en las cuales se presentan signos de diarrea e hipertermia de igual forma disminuyen los niveles de K. Estudios demuestran que la deficiencia de K en dietas de vacas en lactación presenta disminución en el consumo de alimento y agua conllevando esto a la disminución de la producción de leche, y las concentraciones disminuyen de tres a cinco días después de la restricción del mineral en la dieta (Mallonée, 1982; McDowell y Arthington, 2005).

La deficiencia se ve agravada en épocas de sequías ya en forrajes maduros disminuye la concentración de K (McDowell y Arthington, 2005). Para combatir la deficiencia de K se requiere adicionar K en la dieta y de ser posible sustituir la proteína de origen vegetal por urea ya que esta tiene una concentración de 4% aproximadamente.

#### 2.4.1.4 Magnesio (Mg)

El 70 % se encuentra en los huesos y el resto está difundido en los diferentes tejidos. Es cofactor de reacciones, enzimáticas relacionadas con la utilización y transferencia de la energía, metabolismo de carbohidratos, síntesis de proteínas. Como catión es el segundo en cantidad y vital para la conducción de nervios, función muscular y fijación mineral en huesos. Además, el Mg es esencial para los microorganismos que

digieren la celulosa (Durand y Kmisarezuk, 1987) y favorece la producción de leche así como su contenido de grasa (Maynard *et al.*, 1981). En rumiantes adultos el reticulo-rumen es el sitio donde ocurre la mayor parte de la absorción de Mg (Thomas y Potter, 1976; McDowell, 1985). Los carbohidratos aumentan la absorción de Mg debido a una disminución del efecto en el nivel de amoníaco en el rumen (Fontenot *et al.*, 1989). La fertilización con N y K incrementan la concentración de ácidos orgánicos en varias especies forrajeras (Fontenot *et al.*, 1989; Minson, 1990).

La concentración normal de Mg en plasma esta entre 1.8 y 2.4 mg/dL, el mantenimiento normal de este nivel es totalmente dependiente de la absorción de Mg de la dieta (NRC, 2001) y sólo disminuye en casos severos de deficiencia (McDowell *et al.*, 1993). Debido a que las reservas corporales son bajas y su movilidad en tejido óseo es muy reducida, principalmente en animales adultos, niveles de Mg inferiores a 1.1 mg/dL se consideran como deficientes (Giorgievskii, 1982). En condiciones normales, el Mg se elimina en heces y debido a que un 95-97% del Mg filtrado en glomérulos se reabsorbe en los túbulos renales, su eliminación vía orina puede ser muy baja (ARC, 1980; NRC, 1996).

Los signos clínicos de la hipomagnesemia en los rumiantes incluyen la reducción del apetito, tetania, excitación incrementada, salivación profusa y convulsiones (McDowell, 1985; Minson, 1990; McDowell *et al.*, 1993). En casos leves con concentraciones menores a 1.8 y 2.4 mg dL<sup>-1</sup> en suero sanguíneo, el rendimiento de leche es reducido y los animales se ponen nerviosos (Huerta, 1999; McDowell *et al.*, 1993). La tetania de los pastos puede originarse en vacas lactantes cuando consumen forrajes tiernos, porque un forraje tierno contiene altas concentraciones de K, mismo que interviene en la absorción de Mg (Blood y Rodostits, 1992).

#### 2.4.1.5. Sodio (Na)

El Na es un componente del sistema óseo y su contenido aumenta con la edad y puede contribuir a la dureza de los huesos (Miller, 1979a). El Na, junto con el Cl, participan en el balance del fluido corporal, transferencia de impulsos nerviosos, en la regulación de la presión osmótica, en el equilibrio ácido-básico, y control del metabolismo del agua en el cuerpo, es requerido para el crecimiento de la bacterias ruminales (Underwood y Suttle, 1999). La concentración normal de Na en suero sanguíneo es de 150 meq/L (NRC, 2001).

La absorción ocurre por un proceso de transporte activo en retículo, abomaso, omaso y duodeno, mientras la absorción pasiva ocurre a través de la pared del intestino (NRC, 2001), de manera que se observa una tendencia de niveles iguales hacia la concentración intestino y fluidos fecales; en consecuencia, es relativamente bajo el Na excretado en heces especialmente en animales deficientes. En rumiantes, la deficiencia de Na por una ingesta inadecuada es el factor más importante, se manifiesta por un deseo intenso por la sal, signos de pica (Underwood, 1981; McDowell, 1985), reducción del consumo, pelo áspero, menor

producción de leche y pérdida de peso (McDowell *et al.*, 1993). El Na en plasma no se afecta hasta que se manifiesta una deficiencia extrema (Underwood, 1981). Es por eso que en los primeros signos de deficiencia no se presentan trastornos hasta que la deficiencia se prolonga y comienza la pérdida de apetito, pérdida de peso, disminución de la producción de leche y una aspereza del pelo (McDowell, 1985; Church y Pond, 1987). Una deficiencia de Na reduce la absorción de Mg y por tanto incrementará la incidencia de hipomagnesemia (Minson, 1990).

La concentración de Na en hoja y tallo es similar (0.22 g Na/Kg MS) mientras que en la inflorescencia es casi el doble del contenido en hoja y tallo (0.40 g Na/Kg MS) (Minson, 1990). Hay diferencias consistentes entre especies y variedades de pastos en su concentración de Na (Chiy y Phillips, 1993a). Las gramíneas contienen más Na que las leguminosas (Minson, 1990), otro factor que influye es la aplicación de fertilizantes con K y N (Kemp, 1971).

#### 2.4.1.6. Cloro (Cl)

El Cl es esencial para la formación del ácido clorhídrico en el jugo gástrico y la formación de la amilasa (McDowell y Arthington, 2005). Los requerimientos para ganado vacuno se estiman entre 0.10 y 0.20% no excediendo el 0.27% (McDowell y Arthington, 2005).

Los signos por deficiencia de Cl es la pica, incoordinación, baja en la producción de leche, deshidratación de la leche, pérdida de peso, mioclonos y arritmia cardiaca (McDowell y Arthington, 2005). Para corregir y prevenir deficiencias de Cl se suministra *ad libitum* sal de mesa o premezclas minerales que contengan de 20 a 30% de sal. Niveles de 7,000 ppm de sal disuelta en agua pueden ser tóxicos para los rumiantes causando bajo consumo de agua y alimento, problemas digestivos, diarrea y bajas ganancias de peso (McDowell y Arthington, 2005).

#### 2.4.1.7. Azufre (S)

El S interviene en la síntesis de proteína y forma parte de algunas vitaminas, dentro de sus funciones corporales en las cuales participa son: metabolismo de carbohidratos y lípidos, cascada de coagulación, funciones endocrinas y equilibrio ácido-base en el fluido intra y extracelular. Los requerimientos de S se estiman entre 0.10 y 0.32% para el buen funcionamiento microbiano. En el tejido vacuno contiene una porción de N:S de 15:1 (McDowell y Arthington, 2005).

Los signos por deficiencia de S son pérdida de peso, debilidad, lacrimación, disminución de la síntesis microbiana (McDowell y Arthington, 2005). Cuando el S supera el nivel máximo de 0.4% (NRC, 1980) se presenta una interacción que favorece la disminución del metabolismo de Cu y Se, causando signos tales como dolor abdominal, mioclonos, diarreas,

deshidratación severa, olor a sulfuro del aliento, congestión pulmonar, enteritis (Miller, 1979; McDowell y Arthington, 2005).

## **2.4.2. Microminerales**

### *2.4.2.1. Cobre (Cu)*

Participa en la formación de elastina, colágeno y la síntesis de prostaglandinas (Church y Pond, 1987), por lo que el Cu mantiene una estrecha relación con la reproducción, ya que mantiene la gestación al evitar la reabsorción del embrión, porque en la síntesis de progesterona se requieren varias enzimas dependientes del Cu (Kutsky, 1981). El Cu es requerido para la formación de mielina, y por tanto participa en la mielinización normal de las células cerebrales (Miller, 1989; Church y Pond, 1987) y de la médula espinal como un componente de la enzima citocromo oxidasa (Church y Pond, 1987). El nivel de Cu en sangre va de 0.7 a 1.7  $\mu\text{g/mL}$  para la mayoría de los rumiantes (ARC, 1980; NRC, 2001). Para Graham, (1991) y Wikse *et al.* (1992), los valores de referencia para Cu plasmático en bovinos son de 11 a 18  $\text{mmol/L}$  (0.7 a 1.2  $\mu\text{g/mL}$ ).

En los rumiantes, la absorción principal es a nivel del duodeno y yeyuno, en menor proporción en íleon (Gooneratne *et al.*, 1989). Las principales formas de absorción son mediante transporte activo que es un mecanismo saturable, y por difusión simple, este mecanismo es insaturable (Keen y Graham, 1993). La presencia de aminoácidos favorece su absorción (Herrera, 1991; Keen y Graham, 1993). La absorción del Cu está estrechamente relacionada con el nivel de Mo, S, Co, Zn y Fe; consumos elevados de Mo disminuyen la disponibilidad de Cu pudiendo producir deficiencia de este elemento (Minson, 1990). Esto se agrava cuando los suelos deficientes en Cu y altos en Fe se combinan con forrajes altos en S (Suttle *et al.*, 1980). La disponibilidad de Cu puede ser baja en dietas de los rumiantes, especialmente cuando el Mo y S están presentes en altas concentraciones (Davis y Mertz, 1987). La interacción de estos minerales resulta en la formación de compuestos insolubles que son utilizados pobremente por el rumiante (Ward y Spears, 1993).

La deficiencia de Cu dependerá de factores como la edad, sexo, así como de la severidad y duración de la deficiencia (Miller *et al.*, 1989). La deficiencia de Cu se manifiesta en el animal con anemia, reducción del crecimiento, pérdida de peso, disminución de la producción de leche, pelo áspero y falta de coloración del mismo, fragilidad de los huesos, rigidez de las articulaciones y cojera (Underwood, 1981). En el ganado bovino adulto se observa retraso de la presentación del celo, disminución de la reproducción y retención de placenta, disminución de la pigmentación del pelo que se encuentra alrededor de los ojos, éste es un signo específico de la deficiencia de Cu (NRC, 1996, 2001).



En relación con el sistema inmune, la deficiencia de Cu afecta las células T y B, los neutrófilos y los macrófagos, por lo tanto, reduce la cantidad de células que producen anticuerpos (McDowell *et al.*, 1993).

#### 2.4.2.2. Selenio (Se)

Este mineral interviene en el crecimiento, la reproducción, el sistema inmune y es considerado un antioxidante. Protege al organismo de daños causados por metales pesados como Cd, Hg y Ag. Los requerimientos para el ganado lechero son de 0.1 y 0.3 ppm (NRC, 2001). Los signos por deficiencia de Se son principalmente pobre crecimiento y distrofia muscular conocida como enfermedad de “músculo blanco” congénita o tardía. Cuando los niveles de Se son menores a 0.04 ppm se ha observado retención de placenta (McDowell y Arthington, 2005).

La suplementación de Se para corregir deficiencias se puede realizar mediante la inclusión en la dieta u ofrecer premezclas minerales con este elemento, también han sido eficientes la aplicación de Se inyectado y bolos colocados en el rumen: así mismo se pueden fertilizar estratégicamente las praderas con Se. La intoxicación por Se es caracterizada por somnolencia, emaciación, pelo áspero, pérdida de pelo, dolor y crecimiento alargado de las pezuñas, atrofia cardíaca y cirrosis hepática (McDowell y Arthington, 2005).

#### 2.4.2.3. Zinc (Zn)

El Zn interviene en procesos enzimáticos como parte o activador de varias moléculas, forma parte importante del sistema hormonal en el almacenamiento y secreción así como en los receptores y repuesta de los órganos blancos. Los requerimientos de Zn para rumiantes son de 20 a 40 ppm (McDowell y Arthington, 2005).

Los signos por deficiencia de Zn son: disminución en el consumo de alimento, crecimiento y conversión alimenticia, problemas de piel seca, escamosa acartonada en cabeza, cuello, vientre, escoto y piernas. Se recomienda corroborar la concentración en plasma (0.6 a 0.8 ppm) y forraje (<40 ppm). Para la prevención y control de la deficiencia de Zn se recomienda administrarlo en la dieta por medio de pre mezclas minerales que contengan Zn, promedio de bolos e inyecciones. La toxicidad va relacionada con los niveles de Ca, Cu, Fe, y Cd (McDowell y Arthington, 2005).

#### 2.4.2.4. Hierro (Fe)

El hierro se encuentra enlazado a proteínas, en el complejo heme, interviene en el metabolismo principalmente en la respiración celular y es componente de la hemoglobina, la mioglobina y el citocromo. Los requerimientos de Fe para animales adultos se estiman entre 30 y 50 ppm y para animales jóvenes es de 100 ppm. La deficiencia de Fe se observa más comúnmente en animales lactantes ya que la leche es deficiente de Fe, presentando anemia microcítica, mormocrónica, o hipocrómica, así mismo se acompaña de baja

ganancia de peso, dificultad al respirar en esfuerzos leves, atrofia de las papilas gustativas y presencia de pupilas pálidas. La deficiencia en animales adultos en pastoreo no es común ya que las plantas tienen un nivel adecuado de Fe que cubren sus requerimientos, en algunos casos llegan a presentar anemia por pérdida de sangre directa o por parasitosis ya que estos liberan toxinas que inhiben la hematopoyesis (McDowell y Arthington, 2005).

La suplementación de Fe solo es requerida cuando los forrajes contengan menos de 100 ppm o en caso de pérdida de sangre causada por parasitosis. Los casos de intoxicación por Fe son relativamente nulos ya que los bovinos soportan niveles de hasta 1,000 ppm. En los casos de intoxicación se presentan signos como: disminución del consumo de alimento, baja ganancia de peso, diarrea, hipotermia y acidosis ruminal (McDowell y Arthington, 2005).

#### 2.4.2.5. Yodo (I)

Considerado como el único mineral cuya deficiencia está directamente relacionado con una patología clínica en animales y el hombre conocida como bocio, por su participación en la formación de tetrayodotironina (T4) y triyodotironina (T3). Las fuentes de yodo son el agua de bebida, los subproductos de pescado y los forrajes; la concentración de I en forrajes dependerá de la época del año, las variedades, el tipo de suelo y de fertilización (Underwood, 2003).

El calostro es sumamente rico en I siendo 2 a 3 veces mayor su contenido que en la leche obtenida en el pico de producción (Underwood, 2003). El I se absorbe en el tracto gastrointestinal, el 80% del I corporal se encuentra en la tiroides captando un 90% manera activa por medio de la bomba ATPasa. En caso de exceso se excreta yoduro en orina y en la leche (Cuitis, 1980).

## 2.5. Fuente de minerales para el animal

### 2.5.1. Suelo

La composición mineral del suelo varía de acuerdo a la naturaleza de la roca madre, los cambios producidos durante la meteorización, acumulación de materia orgánica y prácticas de manejo (Rucks *et al.*, 2004), su importancia radica en que es soporte para cualquier especie vegetal (Buckman y Brady, 1982), así, un contenido anormal de un mineral tiende a producir plantas con contenido también anormal de dicho mineral (Underwood y Suttle, 1999), estos nutrientes siguen un ciclo, ya que van del suelo a la planta y de la planta al animal, y retornan al suelo a través de secreciones y excreciones (Hampton *et al.*, 1999).

La fertilidad del suelo es la capacidad de abastecer nutrientes en cantidades adecuadas para satisfacer los requerimientos de las plantas (Kemp *et al.*, 1999), los nutrientes que proporcionen dependerán del tipo de suelo, así los arenosos y limosos son pobres con baja asimilación, los arcillosos pueden tener F, Mg, Na, K en su estructura, además tienen la capacidad de adsorber y ceder una serie de iones (Rucks *et al.*, 2004), aunque no siempre están fácilmente disponibles para los pastos (Fuentes, 1989; Velasco, 1992).

Se puede inferir acerca del tipo de arcilla, la magnitud de reserva nutrimental y el grado de intemperismo de los suelos, conociendo su capacidad de intercambio catiónico (CIC); para poder inferir sobre los minerales presentes en los suelos arcillosos, se tiene que considerar la medición hecha por Grim (1953) en los silicatos laminares del tipo 1:1 y 2:1 empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0; con respecto al grado de intemperismo se considera que un valor de CIC inferior a 10 cmol(+)/kg de suelo en un horizonte B con más de 30 a 40% de arcilla indica la ausencia de minerales primarios intemperizables y la acumulación de minerales secundarios del grupo caolinítico y óxidos libres; con respecto a la reserva nutrimental, se considera que ésta es abundante cuando la CIC es mayor a 25 cmol(+)/kg de suelo (NOM-021-SEMARNAT-2000). La CIC es definida como la suma de cationes intercambiables (Chapman, 1965), que varía entre horizontes, estos a su vez dependen de componentes orgánicos (Porta *et al.*, 2003). De los cationes intercambiables el Ca es dominante (60-85%), seguido de Mg (5-30%), K (2-6%) y Na (2-6%) (Bohn *et al.*, 1979; Mengel y Kirkby, 1987).

En suelos ácidos la disponibilidad de minerales es baja, a pesar de que se detectan concentraciones aceptables (Forero, 2004); otra limitante son las altas concentraciones de Al, Mn y Fe, que interactúan con el P y Se (Whitehead, 2000; McDowell, 2003); a medida que el pH en el suelo aumenta, disminuye la disponibilidad y absorción de Fe, Mn, Zn, Cu y Co, mientras que Mo y Se aumentan en el forraje (McDowell, 1985; Suttle, 2010). Los cultivos vegetales mantienen un crecimiento activo en un pH de 4.0 a 8.5, sin embargo, algunos son sensibles en los extremos (Whitehead, 2000), por lo tanto, el pH determina la biodisponibilidad de minerales y regula en gran medida el valor nutricional de los pastos (Toledo, 1982).

La materia orgánica (MO) participa de cierto modo en la absorción de nutrientes (N, P y algunos microminerales), retención de agua, reserva de bases intercambiables, estabilidad de la estructura y aireación del suelo (Broadbent, 1965), y se puede determinar indirectamente por la cantidad de carbono orgánico (Broadbent, 1965; NOM-021-SEMARNAT-2000). Un alto porcentaje de MO puede tener altas concentraciones de Mo y S (Suttle, 2010), y baja disponibilidad de Cu para la planta (Haynes, 1997); por el contrario, un bajo porcentaje de MO tiende a tener bajas concentraciones de I (Suttle, 2010).

La excesiva acumulación de sales en el suelo puede reducir el potencial osmótico y provocar toxicidad en las plantas por el exceso de B, Cl y Na, también puede tener efectos

indirectos en el crecimiento a través del deterioro de la porosidad, retención de agua y permeabilidad (Hillel, 1998); la salinidad es medida por la conductividad eléctrica (CE), así un suelo se considera salino si la CE en el extracto de saturación excede  $4 \text{ dSm}^{-1}$  a temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  (Richards, 1954; McNeill, 1980), cuando la temperatura aumenta también se incrementa la CE (Bower y Wilcox, 1965) provocando interferencia en las lecturas, sin embargo, los cultivos de alfalfa, remolacha y algodón, pueden soportar hasta  $8 \text{ dSm}^{-1}$  sin problema y los de cebada hasta  $12 \text{ dSm}^{-1}$  (Hillel, 1998).

La productividad de los suelos no es constante y tiende a fluctuar con el tiempo, dicha fluctuación afecta su composición física, química y la fertilidad (Tewolde, 2002); las condiciones climáticas secas y lluviosas favorecen las deficiencias de minerales, la primera se da porque genera un detrimento en la solubilidad de los elementos y disminuyen su disposición en los sistemas radiculares (Kawas y Houston, 1990), y la segunda, por solubilización y lixiviación de minerales alejándolos del perímetro de absorción radicular (Velasco, 1992).

El consumo directo de suelo por animales en pastoreo es una indicación de deficiencias minerales, y constituye alrededor de 10 (Healy *et al.*, 1998) a 20% (McDowell y Arthington, 2005) de la ingestión total de materia seca. La ingesta de suelo puede resultar en consumos elevados de Co, I, Fe, Mn y Ti, ya que los suelos tienen mayor concentración que las plantas (Underwood y Suttle, 1999; McDowell y Arthington, 2005); por otra parte, la deficiencia de Cu es común en todo México, lo cual se pudiera deber a la carencia de éste mineral o a los excesos de Mo, S y Fe en los suelos (Huerta, 2003).

En explotaciones ganaderas con sistemas basados en pastoreo, las deficiencias minerales en los pastos se corrigen normalmente con la modificación del pH del suelo y la adición de los elementos deficientes a través de la fertilización (Forero, 2004), sin embargo, el costo y utilización de la pradera son decisivos en su aplicación (Kemp *et al.*, 1999).

En la mayoría de los campos dedicados a la explotación agrícola y ganadera, se produce un continuo drenaje de minerales a través de las toneladas de carnes y granos que salen a la venta y que en general no son proporcionalmente repuestos al suelo; es indudable que ello llevará a un progresivo agotamiento mineral de los suelos a niveles peligrosos que se habrá de sentir tarde o temprano en la producción animal (Fader y Marro, 1995).

### **2.5.2. Agua**

Al respecto, el NRC (2001) indica que dos de los cinco criterios considerados para determinar la calidad del agua son: la presencia de compuestos tóxicos y la presencia de excesos de minerales. La ingestión de agua no suele ser una fuente importante de minerales ya que tiene un bajo nivel de elementos esenciales (McDowell y Arthington, 2005), aunque existen excepciones como las aguas duras, las cuales suministran grandes cantidades de Ca, Mg, S, Cl y Na (Shirley, 1978; Underwood y Suttle, 1999; Whitehead, 2000), sin embargo,

su composición varía según su origen (Dahlborn *et al.*, 1998); la concentración total de sales menor a 1000 mg L<sup>-1</sup> es aceptable para animales de granja, pero contenidos entre 1000 y 3000 mg L<sup>-1</sup> causan diarreas temporales (McDowell, 1992), además, las necesidades de micronutrientes aumentan y se deprime la absorción de P en el tubo digestivo (Bavera *et al.*, 1999). Es difícil cuantificar los minerales que proporciona el agua de bebida a los animales (Suttle, 2010) debido a que la ingesta depende del tamaño del animal, del estado fisiológico (gestación, crecimiento o lactación), salud y condiciones ambientales (NRC, 2005), aunque se ha observado que existe una gran variación en la ingestión en el mismo individuo (Dahlborn *et al.*, 1998; Wright *et al.*, 1999).

### 2.5.3. Forrajes y alimentos

Los forrajes son considerados de importancia especial bajo condiciones de ganado en pastoreo (Mejía, 2002), donde la calidad determina la productividad del animal, ya que está dada en función de su consumo voluntario y de la digestibilidad (Bernal, 1994).

Los elementos esenciales para las plantas son N, P, S, K, Ca, Mg, Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo (Whitehead, 2000); son esenciales cuando: 1) la deficiencia hace que sea imposible completar su ciclo vegetativo y reproductivo, 2) la deficiencia es específica de un elemento y puede ser prevenida o corregida aplicando solo el elemento y 3) el elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta y no es simplemente la corrección de alguna condición desfavorable del suelo (Wild y Jones, 1988).

Los vegetales obtienen los nutrientes del suelo (Fuentes 1989) y aire, N y S (Whitehead, 2000), el contenido mineral varía de acuerdo al género, especie o línea genética, estado de maduración, tipo de suelo y clima (Valdés *et al.*, 1988; Underwood y Suttle, 1999; Suttle, 2010), y su crecimiento depende, en muy alto grado, del desarrollo radicular (Salisbury y Ross, 1985; Rucks *et al.*, 2004). Las leguminosas han sido reconocidas como una fuente excelente de forraje y como mejoradoras de la fertilidad del suelo debido a su habilidad para fijar nitrógeno del aire y para incorporar a la capa arable grandes cantidades de MO, además de tener un mayor contenido de Ca, Mg, P (Bernal, 1994), K, S, Fe, Cu, Zn, Co y N (Huerta, 1997) en comparación con las gramíneas, sin embargo, en las áreas ganaderas de clima cálido las de mayor importancia económica son las gramíneas (Bernal, 1994).

Se ha reconocido la habilidad de algunas plantas para acumular grandes concentraciones de elementos minerales, estas pueden ser implantadas en los agostaderos mediante cruzamientos y selección (Bernal, 1994), por ejemplo algunos arbustos poseen cantidades de Cl y Na que superan en muchas veces los contenidos de la mayoría de las restantes plantas forrajeras, como ciertas especies de *Astragalus* procedentes de terrenos seliníferos contienen hasta 5000 mg/kg de Se en base a su materia seca (Underwood y Suttle, 1999).

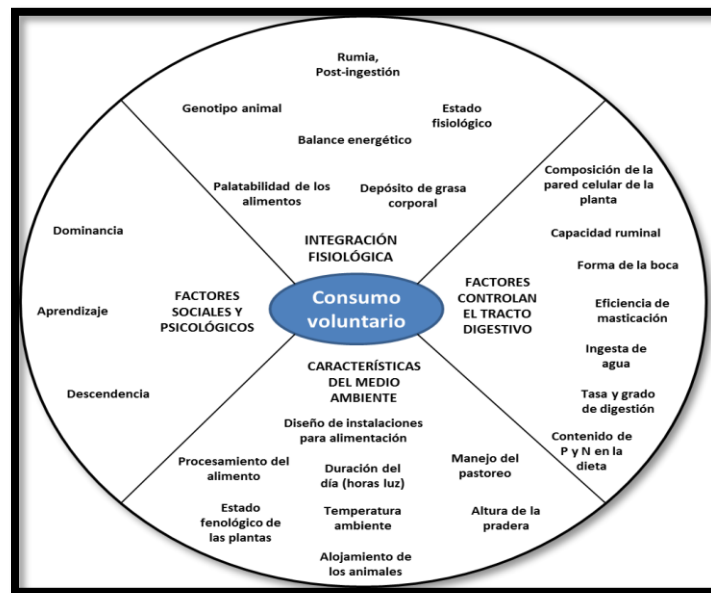
El contenido de minerales generalmente es mayor en las hojas que en los tallos (Bernal, 1994), principalmente el Ca, por el contrario, la concentración de K es mayor en tallos que

en hojas (Whitehead, 2000), un alto contenido de P y bajo contenido de Zn se ha reportado en semillas en comparación con las hojas (Tyler y Zohlen, 1998), también se ha observado que la concentración de N, P, S (Whitehead, 2000), K, Mg, Na, Cl, Cu, Co, Fe, Se, Zn y Mn disminuye en forma proporcional con la maduración de la planta (Underwood, 1981; Underwood y Suttle, 1999; Suttle, 2010).

El medio donde se cultiva el forraje puede afectar el crecimiento de las plantas, su concentración de nutrimentos está relacionado con la humedad del suelo que afecta su disponibilidad, composición botánica de la pradera, relación hojas:tallo y forma química del elemento (Bernal, 1994), la presión de pastoreo puede cambiar la relación hoja:tallo, lo cual afecta también su contenido mineral (McDowell y Arthington, 2005). La estación del año afecta sobre todo la concentración de macrominerales (Greene, 2000); el contenido de P, Na, K, Cu, Zn y Se son mayores durante la época de lluvias, mientras que Ca, Mg y Mn disminuyen (McDowell y Arthington, 2005); en las zonas tropicales se han encontrado niveles bajos de Cu, Zn (Gómez y Laredo, 1983) y Na (McDowell y Arthington, 2005).

## 2.6. Factores que afectan el consumo de nutrientes

La figura 3 resume de forma esquemática los factores involucrados en el consumo de alimento por los animales.



**Figura 3.** Factores que influyen en el consumo de alimento por los animales (Adaptada de Dryden, 2008).

Los factores que reducen la ingesta de forrajes, por ejemplo el bajo nivel de proteína o el alto contenido de lignina, también reducen el consumo total de minerales (McDowell *et al.*, 1984). Los minerales que son reportados con mayor frecuencia como deficientes en los forrajes son: P, Na, Ca, Cu, Se Zn (McDowell *et al.*, 1985).

### III. JUSTIFICACIÓN

Para todos los sistemas de producción de leche del país el rubro de la alimentación representa el mayor problema con respecto a costos de producción, es por esta razón que cualquier alternativa que permita la optimización de recursos dentro de la unidad de producción representa una prioridad.

La utilización de forraje aprovechado mediante el pastoreo suele ser en determinadas condiciones insuficiente para cubrir las necesidades nutricionales del animal, ante esta situación se requiere suplementar al animal con granos de cereales, semillas de oleaginosas, subproductos agroindustriales o concentrados comerciales, que según su disponibilidad varían en precio y calidad, y adicional al nivel de inclusión en la dieta animal puede afectar la rentabilidad del sistema.

Aunado a ello, los trastornos nutricionales pueden resultar de cualquier deficiencia de nutrientes específicos tales como vitaminas y minerales. Los minerales juegan un papel muy importante en la nutrición, aunque no proporcionen energía o proteína, son esenciales para su utilización y para la biosíntesis de nutrientes esenciales. Los desbalances minerales adquieren gran importancia en la nutrición de los animales por su difusión y facilidad con que pueden confundirse con los efectos del agotamiento por desnutrición, deficiencia de proteína o los distintos tipos de infestación por parásitos. Estudios recientes realizados con ganado lechero en pastoreo y suplementados con forrajes conservados o concentrados han sido enfocados hacia el efecto sobre parámetros productivos y análisis económicos, sin considerar la parte de la nutrición mineral como un elemento clave que podría influir en la producción del animal.

Así pues, continúa siendo prioridad en los sistemas de producción animal la optimización de los recursos alimenticios disponibles. En este sentido, el diseño y evaluación de estrategias de alimentación basadas en la utilización del pastoreo como base de la dieta asociado al nivel óptimo de suplementación de cereales o concentrados, por su adecuado aporte de nutrientes, en cantidad y calidad, podrían permitir obtener leche de mejor calidad nutricional sin afectar la producción de leche y manteniendo el estado mineral óptimo del animal.

#### **IV. HIPÓTESIS**

La concentración de minerales en el suero sanguíneo de bovinos productores de leche difiere según la estrategia de alimentación debido a la diferencia en el consumo de estos, lo cual está correlacionado con los parámetros productivos (consumo de minerales, producción y composición química de la leche).



## **V. OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Evaluar la relación entre los parámetros productivos y la concentración mineral en suero sanguíneo de vacas Holstein en pastoreo suplementadas con distintos niveles de concentrado.

### **Objetivos específicos:**

- 1) Correlacionar el consumo de alimento y el consumo de minerales con las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de vacas Holstein en pastoreo suplementadas con tres niveles de concentrado.
- 2) Determinar la relación de la concentración de minerales en suero sanguíneo de vacas Holstein en pastoreo suplementadas con distintos niveles de concentrado con los parámetros productivos: producción y composición química en leche.

## **VI. LÍMITE DE ESPACIO**

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. El análisis de minerales se realizó en el departamento de nutrición animal de la misma Facultad y en el laboratorio de edafología de la Facultad de Ciencias, ambos organismos ubicados en el campus universitario “El Cerrillo” de la Universidad Autónoma del Estado de México, a 19° 24’ 48’’ latitud norte y 99° 40’ 45’’ longitud oeste, y una altura de 2,632 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2007).

## **VII. LIMITE DE TIEMPO**

El experimento se llevó a cabo en la época primavera-verano de 2014 y tuvo una duración, en su fase experimental en campo, de tres meses, posteriormente, un tiempo aproximado de ocho a doce meses para el análisis de la información obtenida en campo y del procesado de muestras en laboratorio.

## VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1. MATERIAL

#### 8.1.1. Material biológico

- Vacas multíparas en producción.
- Praderas.
- Concentrado.

#### 8.1.2. Material de campo

- Sala de ordeña
- Una planta y bodega de alimentos
- Una nave de alojamiento de animales
- Comederos individuales
- Báscula digital
- Cercos eléctricos
- Bascula de animales
- Bolsas de plástico
- Rotuladores
- Pala y carretilla
- Cuaderno de registro

#### 8.1.3. Material de laboratorio

- Congelador
- Tubos de plástico con tapa graduados de 50mL.
- Viales eppendorf capacidad de 1.5mL
- Espátulas
- Analizador de leche Lactoscan®
- Centrifuga
- Bata, guantes
- Estufa de secado
- Bascula analítica
- Molino
- Equipo vortex
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 3110
- Flamómetro modelo EW-02655-00
- Ultravioleta visible, Génesis 20

## 8.2. MÉTODO

### 8.2.1. Animales y tratamientos

Un total de nueve vacas multíparas Holstein en lactación ( $527.8 \pm 48$  kg PV y  $22.6 \pm 4.0$  kg leche/d) fueron agrupadas en un diseño cross-over en tres lotes homogéneos durante tres periodos experimentales.

La alimentación de los animales estuvo basada en un sistema de producción mixto con tiempos de acceso al pastoreo y suplementación en el establo. Se estableció un sistema de pastoreo rotacional en praderas polífitas con predominio de las especies *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata*, *Penisetum clandestinum*. El manejo de la pradera fue convencional con abonados nitrogenados a razón de 50 kg urea/ha.

Con el nivel de concentrado suplementado asociado al tiempo de pastoreo, se evaluaron los siguientes tratamientos:

- 1) **8h+8c**: Ocho horas de pastoreo más 8.0 kg de concentrado y ensilado de maíz a libre acceso durante la estabulación.
- 2) **12h+5c**: Doce horas de pastoreo (realizado en el intervalo entre ordeños, de 7:00 a 15:00h y de 16:00 a 20:00h) más 5.0 kg de concentrado y ensilado de maíz a libre acceso durante la estabulación.
- 3) **12h+3c**: Doce horas de pastoreo (realizado en el intervalo entre ordeños, de 7:00 a 15:00h y de 16:00 a 20:00h) más 3.0 kg de concentrado y ensilado a libre acceso durante la estabulación.

El concentrado ofertado en la estabulación fue común para todos los tratamientos, estuvo compuesto a base de canola (18.24%), soya (6.08%), sorgo (65.17%), salvado (8.00%) y minerales (2.50%). El concentrado contenía (BS) 18 % de proteína cruda, 2.0 Mcal de EN/kg MS para lactancia (ENL) y 15.5% de fibra detergente neutro. En la estabulación y en la pradera los animales tuvieron libre acceso al agua de bebida.

### 8.2.2. Desarrollo experimental

El estudio comprendió tres periodos experimentales de 19 días cada uno (14 días de adaptación y 5 días de control). Se realizaron dos ordeños al día (06:00 y 15:00h).

De acuerdo con Tozer *et al.* (2004) la asignación de pasto es un término aplicado al manejo de animales en pastoreo y es medido como unidades de forraje ofrecido, normalmente en Kg de MS/d por vaca. En el presente estudio la asignación de pasto durante el pastoreo fue de 25kg de MS/d/vaca para los tres tratamientos. La pradera fue dividida en dos parcelas, la

primera para los tratamientos 2 (12h + 5c) y 3 (12h + 3c), y la segunda exclusivamente para el tratamiento 1 (8h + 8c). Un día previo al inicio de la etapa de medición experimental, en la pradera, se realizó el control de la producción de forraje para delimitar el área según la asignación de pastoreo; dicho control de producción se realizó haciendo cuatro cortes con un cuadrante ( $0.25\text{ m}^2$ ) en forma de zig-zag en cada una de las melgas para así obtener la muestra total de  $1\text{ m}^2$  de forraje. El manejo de los animales según el tratamiento fue de la siguiente manera:

Finalizado el primer ordeño, los tres grupos salieron a la pradera asignada donde permanecieron hasta el momento del segundo ordeño, finalizado este los tratamientos 2 y 3 (12h + 5c y 12h + 3c) se trasladaron nuevamente a la pradera, mientras que el tratamiento 1 (8h+8c) permanecieron en el establo donde se le ofreció el concentrado junto con el ensilado de maíz en comederos individuales, se ofrecieron de 10 a 13 kg (base húmeda) por comedero. El ensilado de maíz se oferto en dos comidas durante la estabulación. Al inicio y final de cada periodo experimental los animales fueron pesados y evaluados en su condición corporal.

En los cinco días de medición, diariamente se midieron el consumo de alimento en el corral (ensilado de maíz y concentrado) así como la producción de leche al momento del ordeño de cada animal. El consumo de alimento en la estabulación se estimó por diferencia entre la oferta y rechazo del alimento.

El consumo de pasto se determinó mediante el método descrito por Macoon et al. (2003), para lo cual se calculó los requerimientos de energía neta para lactación (ENL) del ganado lechero según las ecuaciones del NRC (2001), y el aporte de energía neta (EN) de los alimentos consumidos en el establo. El contenido de EN del pasto, ensilado de maíz y concentrado fue calculado con las ecuaciones descritas por Menke y Steingass (1988), a partir del contenido de fibra ácido detergente.

Se muestrearon los alimentos consumidos por el animal, el ensilado de maíz se muestreo diariamente, y el concentrado una vez por periodo experimental. La pradera fue muestreada utilizando la técnica de hand-plucking o pastoreo simulado en el primer día de la fase de control. Todas las muestras fueron conservadas para su posterior análisis en laboratorio. Se tomaron muestras de leche en los dos horarios (6 y 15 h) de ordeña, las cuales fueron inmediatamente congeladas ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) hasta su posterior análisis.

Al inicio y al final de cada etapa de medición se tomaron una muestra de sangre (14 mL aproximadamente) de la vena coccígea, se dejó reposar los tubos por 10 h para separar el paquete globular, una vez pasado este tiempo, el suero se conservó en tubos eppendorf a temperatura de congelación ( $-4^{\circ}\text{C}$ ).

### **8.2.3. Análisis de Laboratorio**

A continuación se describen los análisis en los distintos tipos de muestras.

- Alimentos. El contenido de materia seca (MS) se determinó por pérdida de peso tras desecación de la muestra a  $103 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 24 h. La composición química de los alimentos (forrajes y concentrados) se realizó utilizando la tecnología del infrarrojo cercano en un equipo NIR5000. Los alimentos (concentrado y pasto) fueron secados con estufa de aire forzado a  $60^\circ\text{C}$  por 48 h, se molieron con malla de 2 mm. El ensilado fue procesado mediante la técnica de arrastre por tolueno (AOAC, 2012). Posteriormente por duplicado se pesó 1 g de muestra en tubos de digestión, se adicionaron 8 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ , 65% pureza) y 4 mL de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ , 72% pureza), se dejaron reposar por 12 h (pre-digestión). Pasado este tiempo, los tubos se colocaron en el digestor y se calentaron a  $150^\circ\text{C}$  por 45 minutos aproximadamente, hasta que desaparecieron los humos pardos, se aumentó la temperatura a  $210^\circ\text{C}$  por 60 minutos aproximadamente, el final de la reacción estuvo marcado por la aparición de vapores blancos densos característicos del  $\text{HClO}_4$ . Se dejó enfriar, se agregaron 20 mL de agua destilada a los tubos de digestión y se filtraron con papel de poro fino en matraces volumétricos de 50 mL, el aforó final fue con agua destilada. El resultado de esta dilución es de 1:50 (Allan, 1971). En todos los alimentos el contenido de Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn y Co se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (Perking Elmer, 3110); el Na y K por flamómetro (Corning, 410) y el contenido de P se determinó por colorimetría en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible (Perkin Elmer, modelo Génesis 20).
- Leche. La composición química de la leche se determinó con un equipo analizador de leche Lactoscan®.
- Suero sanguíneo. Los sueros sanguíneos se descongelaron a temperatura ambiente ( $18^\circ\text{C}$ ), se tomó una alícuota de 2 mL y se adicionaron 8 mL de ácido tricloroacético al 10 %, se agitaron con el equipo vortex por 60 segundos y se dejaron reposar 10 minutos, se centrifugaron a 2500 rpm por 10 minutos, por último se conservó la parte líquida en tubos de plástico limpios. El resultado de esta dilución es de 1:5 (Fick et al., 1979). En suero sanguíneo se determinaron los minerales analizados para los alimentos, anteriormente descritos.

#### 8.2.4. Análisis Estadístico

El contenido mineral de los alimentos en los periodos experimentales fueron analizados por el procedimiento GLM (SAS, 2002). Para el análisis de las variables respuesta: consumo, producción y composición de la leche, y contenido mineral en suero sanguíneo se realizó bajo un diseño de cuadro latino repetido  $3 \times 3$ . El modelo estadístico utilizado fue:  $Y_{ijk} = \mu + C_i + A_{(ij)} + P_{(i)k} + TP_1 + E_{ijkl}$

Donde:

$Y_{ijk}$  = respuesta de las variables dependientes

$\mu$  = media general

$C_i$  = efecto del i-ésimo cuadro

$A_{(ij)}$  = efecto del j-ésimo animal

$P_{(i)k}$  = efecto del k-ésimo periodo

$TP_i$  = efecto del tiempo en la pradera

$E_{ijk}$  = error aleatorio

Donde el efecto fue significativo ( $P \leq 0.05$ ) se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey (Steel et al., 1997). Para conocer la relación consumo de minerales con el contenido en suero sanguíneo y las variables de respuesta productiva se realizaron análisis de correlación (SAS, 2002).



## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1. Minerales en alimentos

En el Cuadro 1 se muestra el contenido mineral de los alimentos proporcionados a las vacas durante el experimento. Se destaca que el concentrado presenta valores altos de zinc, Limon (2015), reporta valores de 22 ppm que representa solo el 17.1% del reportado en el presente trabajo.

**Cuadro 2.** Contenido de minerales en los alimentos ofrecidos a de vacas Holstein en pastoreo complementadas con distintos niveles de concentrados en el valle de Toluca, México.

Minerales	Concentrado	Ensilado	Pasto
Calcio, %	0.55	0.17	0.17
Fósforo, %	0.42	0.17	0.15
Relación Ca:P	1.28	1.02	1.15
Magnesio, %	0.18	0.11	0.08
Potasio, %	0.49	0.66	0.64
Sodio, %	0.36	0.16	0.25
Hierro, ppm	16	111	151
Cobre, ppm	412	269	256
Zinc, ppm	128	18	15
Hierro, ppm	164	111	151
Zinc, ppm	128	18	15

### 9.2. Consumo de alimento y minerales.

En el Cuadro 3, se muestra el consumo diario de materia seca; para el ensilado de maíz el mayor ( $P < 0.05$ ) consumo fue para el tratamiento 8hx8c, los tratamientos 12h x 5c y 12h x 3c tuvieron una disminución de 37.5 % y 62.5 % del consumo de ensilado de maíz en comparación con 8h x 8c. El concentrado ofrecido a las vacas en distintos niveles, aspecto clave del estudio, fue ingerido en su totalidad.

El tratamiento 8hx8c mostró la mayor ingestión ( $P < 0.05$ ) de ensilado de maíz y de consumo total de MS en estabulación con respecto a los otros tratamientos. Esto afectó ( $P < 0.05$ ) el consumo de pasto y el consumo total de MS. El consumo de pasto incrementó ( $P < 0.05$ ) con la disminución del nivel de concentrado, en el tratamiento 12hx3c el consumo de pasto fue 2 y 4.5 veces mayor que los tratamientos 8hx8c y 12hx5c, respectivamente.

Así, el consumo diario de materia seca total fue mayor ( $P < 0.05$ ), y estadísticamente igual, en los tratamientos 8h x 8c y 12h x 3c, en comparación con el tratamiento 12h x 5c. De

acuerdo con el NRC (2001), el ganado lechero con un peso vivo promedio de 680 kg con promedio de 90 días de lactación con una producción de 25 kg de leche por día requiere consumir 19.6 kg de materia seca, mientras que vacas de 450 kg PV con producción de 20 kg de leche por día requieren consumir 16.5 kg de MS, en la presente investigación la producción láctea no rebasa los 20.0 kg/d por lo que se esperaría consumos de MS de alrededor de 16 kg por día (NRC, 2001).

**Cuadro 3.** Ingestión diaria de alimento (kg MS) de vacas Holstein en pastoreo complementado con distinto nivel de concentrado.

	Tratamientos <sup>1</sup>			EEM <sup>2</sup>	P<
	8hx8c	12hx5c	12hx3c		
<b>Ensilado</b>	8.13 a	7.51 b	7.81 ab	0.1439	0.0344
<b>Concentrado</b>	7.20 a	4.50 b	2.70 c	5.462	<0.0001
<b>Total en establo</b>	15.33 a	12.01 b	10.51 c	0.143	<0.0001
<b>Pasto<sup>3</sup></b>	1.14 c	2.58 b	5.25 a	0.268	<0.0001
<b>Ingesta total</b>	16.48 a	14.59 b	15.76 a	0.280	<0.0001

<sup>abc</sup> Valores medios en la misma hilera con distinta literal son diferentes ( $P<0.05$ ).

<sup>1</sup> Tratamientos: 8h = 8 kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h; 12h = 5kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h con; 12h = 3kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h con

<sup>2</sup> EEM = error estándar de la media.

<sup>3</sup> Pasto: calculado por el método de rendimiento del animal (Macon et al., 2003).

La producción de leche y el consumo de minerales de vacas en pastoreo se presentan en el Cuadro 4. La producción de leche fue afectada ( $P<0.05$ ) por los tratamientos. Con respecto al tratamiento 8h x 8c, la producción de leche en el tratamiento 12h x 5c disminuyó un 22.1% y 17.5% para 12h x 3c.

En relación con el consumo de minerales, a excepción de potasio y hierro, el consumo del resto de los minerales analizados mostró diferencias ( $P<0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 4). En el tratamiento con el nivel más alto de concentrado suministrado a los bovinos presentó el mayor consumo de macrominerales y de Zn.

El consumo de calcio decreció conforme los niveles de concentrado disminuyeron, así, resultó insuficiente el consumo de este mineral (0.25%) para cumplir los requerimientos comparados con los valores recomendados por el NRC (2001) para vacas en producción (0.62%).

El consumo de fósforo fue mayor ( $P<0.05$ ) en el tratamiento 8c, siendo 23% y 31% más alto que 5c y 3c, respectivamente. El requerimiento de este mineral, según el NRC (2001) es de 0.33 %/kg de MS, mismo que no fue cubierto en los tratamientos evaluados. Considerando el contenido de P en los alimentos suministrados al animal (ensilado, concentrado y pasto) y el consumo total de MS, el tratamiento 3c apenas aportó 0.20% de P al animal, mientras que los tratamientos 5c y 8c, aportaron 0.24% y 0.27%,

respectivamente. Pero Mathews *et al.* (1998) afirman que los animales tienen la capacidad de movilizar reservas de este mineral para corregir la deficiencia.

El consumo de magnesio de los bovinos mostró diferencias ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos. En el tratamiento 8h x 8c el consumo fue 25% mayor que los tratamientos 12h x 5c y 12h x 3c, los cuales fueron estadísticamente iguales. De acuerdo con el NRC (2001), el nivel óptimo de magnesio en la dieta para vacas en producción es 0.18% kg de MS, mismo que no fue cubierto por ningún tratamiento, ubicándose el aporte de este mineral en 0.14, 0.12 y 0.11% respectivamente para 8hx8c, 12hx5c y 12hx3c.

El consumo de potasio ( $92.29 \pm 9.1$  g/d) de bovinos en pastoreo resultó estadísticamente igual ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos. Su aporte en la dieta fue de 0.6 % base seca, valor que está por debajo del 1.0% que establece el NRC (2001).

**Cuadro 4.** Producción de leche y consumo de macro minerales y micro minerales de vacas Holstein en pastoreo complementado con diferentes niveles de concentrado.

	Tratamientos <sup>1</sup>			EEM <sup>2</sup>	P<
	8hx8c	12hx5c	12hx3c		
<b>Producción de leche, kg/d</b>	19.66 a	15.31 b	16.17 ab	1.081	0.0304
<b>Consumo</b>					
Calcio, g/día	55.33 a	41.43 b	36.16 c	0.966	<0.0001
Fósforo, g/día	46.03 a	35.19 b	31.69 c	0.855	<0.0001
Magnesio, g/día	23.47 a	18.68 b	17.52 b	0.445	<0.0001
Potasio, g/día	95.97	85.85	95.04	3.716	0.1405
Sodio, g/día	41.55 a	33.45 b	33.60 b	1.485	0.0022
Hierro, ppm/día	2280	1930	2160	122.0	0.14440
Cobre, ppm/día	2550 c	2640 b	3310 a	143.0	.0037
Zinc, ppm/día	1085 a	750 b	550 c	8.000	<0.0001
Hierro, ppm/día	2280	1930	2160	122.0	0.1444
Zinc, ppm/día	1085 a	750 b	550 c	8.000	<0.0001

<sup>abc</sup> Valores medios en la misma hilera con distinta literal son diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> Tratamientos: 8h = 8 kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h; 12h = 5kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h con; 12h = 3kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h con

<sup>2</sup> EEM = error estándar de la media.

El consumo de sodio difirió entre tratamientos ( $P < 0.05$ ), el tratamiento 8hx8c presentó el mayor consumo en comparación con 12hx5c y 12h x 3c que fueron estadísticamente

iguales. El requerimiento establecido por el NRC (2001) para este mineral es de 0.22% por kg de MS, mismo que fue cubierto por los tres tratamientos evaluados, siendo el aporte de Na de 0.25%, 0.22% y 0.23% para 8hx8c, 12h x 8c y 12h x 3c, respectivamente.

El consumo de cobre mostro diferencias entre tratamientos ( $P<0.05$ ), siendo mayor para el tratamiento 12hx3c. Todos los tratamientos cumplieron con los requerimientos de cobre establecidos por el NRC (2001) (11 ppm), esto debe ser tomado con cautela, debido a la alta concentración de Cu en el pasto y en el ensilado (Cuadro 1) probablemente por la contaminación de la muestra.

El consumo de hierro no mostro diferencia en ningún tratamiento ( $P<0.05$ ), el requerimiento mínimo de hierro establecido por el NRC (2001) es de 12.3 mg/kg mismo que no se cubrió en ningún tratamiento.

Por otro lado, diferencias entre tratamientos ( $P<0.05$ ) fueron observadas en el consumo de zinc, siendo mayor el consumo de este mineral en el tratamiento 8hx8c, no obstante fue inferior al establecido por el NRC (2001) (43 mg/kg).

### 9.3. Minerales en suero sanguíneo

A excepción de cobre, la concentración de minerales en suero sanguíneo de bovinos productores de leche en pastoreo complementado con diferentes niveles de concentrado no fue afectada (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Concentración de minerales en suero sanguíneo de vacas Holstein complementadas con distintos niveles de concentrados.

	Tratamientos			EEM <sup>2</sup>	P<
	8hx8c	12hx5c	12hx3c		
Calcio, <i>mg/dL</i>	6.97	7.48	7.21	0.285	0.4689
Fósforo, <i>mg/dL</i>	8.47	8.72	7.94	0.331	0.2719
Magnesio, <i>mg/dL</i>	1.41	1.53	1.35	0.076	0.2660
Potasio, <i>mg/dL</i>	20.41	20.78	20.78	0.646	0.8956
Sodio, <i>mg/dL</i>	320	345	337	9.814	0.2127
Cobre, <i>mcg/mL</i>	0.88 a	0.84 ab	0.66 b	0.059	0.0438
Hierro, <i>mcg/mL</i>	1.52	1.47	1.50	0.083	0.9283
Zinc, <i>mcg/mL</i>	0.23	0.34	0.37	0.062	0.2518

<sup>abc</sup> Valores medios en la misma hilera con distinta literal son diferentes ( $P<0.05$ ).

<sup>1</sup> Tratamientos: 8h = 8 kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h; 12h = 5kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h con; 12h = 3kg de concentrado MF más pastoreo de 07:00 a 15:00h y 16:00 a 20:00h con <sup>2</sup> EEM = error estándar de la media.

La concentración de Ca en suero sanguíneo de los bovinos fue baja en comparación con lo reportado por Morales-Almaráz *et al.* (2007) en suero de vacas (15.18-17.12 mg/dL) evaluados en cuatro localidades del valle de Toluca, México en dos épocas del año, pero se asemejan a lo reportado por Limón (2016); y son bajos (9 a 10 mg/dL) para lo reportado por el NRC (2001). El NRC (2005) menciona que, cuando los niveles de calcio en la dieta son deficientes los animales son capaces de movilizar las reservas presentes en el hueso para mantener los niveles de normales en sangre; McDowell y Arthington (2005) y Suttle (2010) indican que no es común encontrar deficiencia de calcio en vacas en pastoreo pero en animales con altos estándares raciales los requerimientos de calcio incrementan y es posible observar deficiencia del mismo.

Los niveles de fósforo en suero sanguíneo de vacas lecheras observados en la presente investigación estuvieron dentro de los rangos establecidos por el NRC (2001) (4 a 8 mg/dL). Morales-Almaráz *et al.* (2007) y Limón (2016) reportaron valores similares a los encontrados en este trabajo (6.88 y 6.06-0.74 mg/dL, respectivamente). Los niveles normales de fósforo en suero sanguíneo se explicarían porque los rumiantes tienen la capacidad de reciclar este mineral (Mathews *et al.*, 1998).

La concentración de magnesio en suero sanguíneo ( $1.43 \pm 0.188$  mg/dL) resultó por debajo del rango establecido por McDowell *et al.* (1993) (1.8 a 2.4 mg/dL)

De acuerdo con el NRC (2001), la concentración de Na en suero sanguíneo de bovinos ( $334 \pm 24$  mg/dL) observada en el presente trabajo se encuentra dentro de lo normal. Morales-Almaráz *et al.* (2007) y Limón. (2016) reportan valores superiores en vacas en producción. Los bovinos son capaces de reducir la excreción del mineral cuando la dieta es deficiente (ARC, 1980). McDowell (1985) reporta que los niveles de sodio en suero sanguíneo y la dieta tienen muy poca correlación para determinar una deficiencia y la prueba más confiable es la toma de muestra de saliva.

La concentración de Cu en suero sanguíneo mostró diferencia entre tratamientos ( $P < 0.05$ ), siendo mayor para el tratamiento 8h x 8c y estadísticamente igual al tratamiento 12h x 5c pero diferentes del tratamiento 12h x 3c, que mostró la concentración más baja de Cu en suero. Los valores Cu en suero de vacas encontrados son similares a los reportados por Almaráz *et al.* (2007) (0.76 mcg/mL) y Limón (2016) (0.80 mcg/mL) De acuerdo con Puls (1988) el nivel óptimo en suero sanguíneo es de 0.80 a 1.50 mcg/ml, mostrándose el tratamiento 12h x 3c por debajo de estos rangos. De acuerdo al NRC (2001), la absorción de cobre se ve afectada por el exceso de molibdeno en la dieta y niveles menores a 0.5 mcg/ml representarían definitivamente una deficiencia de este mineral. De acuerdo con lo descrito en el Cuadro 4, el consumo de Cu no cubrió los requerimientos de los bovinos lecheros, sin embargo, no se reflejó en una deficiencia en el animal.

La concentración de hierro en suero sanguíneo ( $1.50 \pm 0.20$  mcg/mL) no mostró diferencia en los tratamientos ( $P < 0.05$ ). De acuerdo con Puls (1988) la concentración de normal es

de 1.3 mcg/ml, similar rango (1.3-2.5 mcg/ml) establecen McDowell et al., (1997) y Minson (1990).

Las concentraciones de zinc en el suero estuvieron ( $0.31 \pm 0.15$  mcg/ml) por debajo de los niveles óptimos, ya que normalmente se encuentran entre 0.7 y 1.3 mcg/ml. Concentraciones de zinc en suero por debajo 0.4 mcg/ml se consideran a menudo deficientes (NRC, 2001). De acuerdo con Huerta (1999), los niveles de zinc en suero sanguíneo son afectados cuando los animales son sometidos a estrés y por presencia de patologías en el mismo e indica que niveles a 0.4mcg/ml en suero sanguíneo son un indicativo de deficiencia de Zn; McDonald et al. (1988) menciona que los excesos de Ca, P y Cu inhiben la absorción de Zn.

#### 9.4. Correlación de variables

##### 9.4.1. Correlación del consumo de minerales y la concentración mineral en suero sanguíneo de vacas.

El consumo de minerales, macro y micro, de los bovinos productores de leche en pastoreo no mostró relación ( $P > 0.05$ ) con su concentración en suero sanguíneo al ser suplementados con distintos niveles de concentrado (Cuadro 6). Solamente una correlación negativa media ( $P < 0.05$ ) entre el consumo de Na y su concentración en suero sanguíneo de vacas fue observada.

##### 9.4.2. Correlación entre el consumo de minerales y la producción de leche de vacas

La producción de leche de vacas en pastoreo complementado con diferentes niveles de concentrado estuvo correlacionada positivamente ( $P < 0.05$ ) con el consumo de Ca, P, Mg, Na, Fe y Zn (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Coeficientes de correlación

<b>Correlación</b>	<b>Ca</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>
<b>Consumo de minerales-Concentración en suero sanguíneo</b>								
<b>r</b>	-0.0535	0.11393	0.1019	-0.2670	-0.6513	-0.2000	-0.0144	-0.3057
<b>P&lt;</b>	0.8330	0.5814	0.6873	0.2840	0.0034	0.4262	0.9547	0.2172
<b>Consumo de minerales-Producción de leche</b>								
<b>r</b>	0.6223	0.6527	0.6139	0.4295	0.5232	0.0666	0.6749	0.5631
<b>P&lt;</b>	0.0058	0.0033	0.0067	0.0752	0.0259	0.7978	0.0021	0.0149
<b>Concentración en suero sanguíneo-Producción de leche</b>								

<b>r</b>	0.1122	0.1311	0.2168	0.2519	-0.4616	0.1617	-0.1633	-0.0773
<b>P&lt;</b>	0.6574	0.6040	0.3875	0.3131	0.0538	0.5213	0.5173	0.7602

En cuanto al calcio, la correlación positiva ( $r=0.62$ ) indicaría que con el incremento del consumo de calcio mayor será la producción de leche de los bovinos en las condiciones establecidas en el presente trabajo. Sin embargo, ninguno de los tratamientos cumplió con los requerimientos mínimos de Ca (0.62%) según el NRC (2001). McDowell *et al.* (1993) menciona que cuando se presenta deficiencia de este mineral se ve reflejada en debilidad de los huesos, reducción del crecimiento, baja producción de leche, y en deficiencias severas tetania.

Similar a lo observado para Ca, un mayor consumo de P, Mg y Na estuvo relacionado con la mayor producción de leche (Cuadro 6). La deficiencia de estos minerales en la dieta animal, de acuerdo con la literatura, tiene como efecto común la disminución de la producción de leche. Miller (1983) menciona que la deficiencia de P tiene como consecuencia una reducción del consumo, crecimiento lento, menor producción de leche, trastornos reproductivos. En casos de deficiencia leve de magnesio, el rendimiento de leche es reducido y los animales se ponen nerviosos (Huerta, 1999; McDowell *et al.*, 1993). Cuando existe deficiencia de Na se presenta reducción del consumo, pelo áspero, menor producción de leche y pérdida de peso (McDowell *et al.*, 1993).

Una tendencia ( $P=0.075$ ) en la correlación del consumo de K con la producción de leche.

En relación al consumo de microminerales con la producción de leche, nuestros resultados indicaron una correlación positiva media entre el consumo de Fe y Zn con la producción de leche. El hierro es evidentemente bien suministrado por los forrajes (Miller, 1979; McDowell, 1985), aunque la concentración varía dependiendo de la especie de planta, el tipo de suelo sobre el que se desarrollan y el grado de contaminación del suelo (Underwood y Suttle, 1999); sin embargo, resultó contrastante, puesto que el NRC (2001) establece que el consumo de Fe es de 12.3 ppm y ningún de los tratamientos evaluados en la presente investigación lo cubrió (Cuadro 4)

#### **9.4.3. Correlación entre la concentración mineral en suero sanguíneo y la producción de leche de vacas**

Nula correlación ( $P>0.05$ ) entre la concentración de minerales en suero sanguíneo de vacas lecheras y su producción láctea se observó (Cuadro 6).

Bajo las condiciones en que fue realizada la presente investigación, podría ser asumido que el análisis del contenido mineral en el suero sanguíneo no es un parámetro confiable para relacionarlo con la productividad del animal, específicamente de la producción láctea en el

ganado lechero en pastoreo, tal y como fue observado en otro estudio (Limon, 2015). Por otro lado, la falta de significancia observada al correlacionar el consumo de minerales y la concentración en suero sanguíneo de bovinos, podría ser un factor añadido a la falta de efecto de la concentración de minerales en suero sanguíneo y la producción de leche.

El animal regula, en la mayoría de los minerales, su concentración mineral en fluidos (suero sanguíneo) y su aprovechamiento (absorción y metabolismo) a partir de su aporte en la dieta y de sus reservas corporales, lo cual asociado a otros factores como el nivel de producción, estado sanitario, nivel de estrés, entre otros, hacen difícil la interpretación tanto de los desbalances observados en la concentración mineral en suero sanguíneo como el efecto de la correlación entre las variables estudiadas, particularmente del consumo con el contenido mineral en suero sanguíneo, y de este con la producción láctea.



## X. CONCLUSIONES

Con la presente investigación, se concluye que el nivel de concentrado asociado al tiempo en la pradera tiene influencia en la producción de leche, consumo de minerales y la concentración de minerales en suero sanguíneo de bovinos en pastoreo.

Suplementar ocho kilogramos de concentrado repercute en un mayor consumo de macrominerales, sin embargo, prácticamente no se cubrieron los requerimientos de Ca, P, Mg, K y Zn de los bovinos en lactación.

El consumo de macro y microminerales tuvo estrecha relación con la producción de leche, pero no con la concentración de minerales en suero sanguíneo. Así mismo, nula relación existió entre la concentración mineral en suero sanguíneo con la producción de leche de las vacas, indicando que el estado mineral del animal determinado por el análisis de suero no es un aspecto que influya en la producción láctea del animal bajo las condiciones de nuestro estudio.

La concentración de mineral en suero sanguíneo de los bovinos, independiente del tratamiento, fue normal para P, Na, Cu y Fe; crítica para Ca; deficiente para Mg y Zn; y excesiva en K. El suero sanguíneo no es el mejor indicador para la detección del estado mineral del ganado, por otro lado, de continuar siendo insuficiente el consumo de minerales para satisfacer los requerimientos del animal, la presencia de deficiencias y repercusiones en la producción de leche, reproducción y salud del animal en general podría ser deteriorada más adelante.

## X. LITERATURA CITADA

- Allan, J. E. (1971). The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron. USA. 15 p.
- Argumentería, A., Vicente, F., Martínez-Fernández, A., Cueto, M.A., y de la Roza-Delgado, B. (2006). Influence of partial total mixed rations amount on the grass voluntary intake by dairy cows. En: Grassland Science in Europe. 11: 161-163.
- Arriaga-Jordán, C. M., B. Albarrán-Portillo, A. Espinoza-Ortega, A. García-Martínez, and O. A. Castelán-Ortega. 2002. On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale Dairy production systems in the highlands of Central Mexico. Exp. Agric. 38: 375-388.
- Arriaga-Jordán, C. M., F. J. Flores-Gallegos, G. Peña-Carmona, B. Albarrán-Portillo, A. García-Martínez, A. Espinoza-Ortega, C. E. González-Esquível, and O. A. Castelán-Ortega. 2001. Participatory on-farm evaluation of the response to concentrate supplementation by cows in early lactation in smallholder peasant (campesino) dairy production systems in the highlands of central Mexico. J. Agric. Sci. 137: 97-103.
- Bargo, F., L. D. Muller, E. S. Kolver, and J. E. Delahoy. 2003. Invited Review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. J. Dairy Sci. 86:1-42.
- Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S., and Delahoy, J.E. (2003). Invited Review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. J. Dairy Sci. 86: 1-42
- Bauman, D.E., and Davis, C.L. (1974). Biosynthesis of milk fat. En: Lactation: A Comprehensive Treatise. BL Larson. VR Smith (Eds). Academic Press. New York. 31-75.
- Bauman, D.E., and Griinari, J.M. (2001). Regulation and nutritional manipulation of milk fat low-fat milk syndrome. Livest. Prod. Sci. 70: 15-29.
- Bauman, D.E., and Griinari, J.M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. Ann. Rev Nutr. 23: 203-227.
- Bauman, D.E., Mather, I.H., Wall, R.J., and Lock, L.A. (2006). Major Advances Associated with the Biosynthesis of Milk. J. Dairy Sci. 89: 1235-1243.
- Bela, B., G. Nagy and I. Vinczeffy. 1995. The influence of grazing on milk production and productive life time. Debrecen Agricultural University, Dept. of Anim. Breeding and Nutrition. Prague, Germany.
- Burke, F., O'Donovan, M.A., Murphy, J.J., O'Mara, F.P., Mulligan, F.J. (2008). Effect of pasture allowance and supplementation with maize silage and concentrates differing in crude protein concentration on milk production and nitrogen excretion by dairy cows. Livest. Sci. 114: 325-335.
- Capuco, A.V., Wood, D.L., Baldwin, R., Mcleod, K., and Paape, M.J. (2001). Mammary cell number, proliferation, and apoptosis during a bovine lactation: relation to milk production and effect of bSF.

- Chilliard, Y., and Ferlay, A. (2004). Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Repr. Nutr. Dev.* 44: 467–492.
- Craninx, M., Steen, A., Van, Laar, H., Van, Nespen, T. Martín-Tereso, J. De Baets, B., and Fievez, V. (2008). Effect of Lactation Stage on the Odd- and Branched-Chain Milk Fatty Acids of Dairy Cattle Under Grazing and Indoor Conditions. *J. Dairy Sci.* 91: 2662-2677.
- Demment, M.W., and Allen, L.H. (2004). Animal source foods to improve micronutrient nutrition and human function in developing countries. *J. Nutr.* 133 (Suppl.): 11-S II.
- Dils, R.R. (1986). Comparative aspects of milk fat synthesis. *J. Dairy Sci.* 69: 904-910.
- Dryden G McL. 2008. Animal nutrition science. CAB International. Cambridge UK. Pp. 302.
- Fick, K. R, McDowell, L. R., Wilkinson, N. S., Funk, D. J., Conrad, J. H, y Valdivia, R. (1979). Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. USA.
- Fox, D. G., Sniffen C.J., O'Connor J.D., Russell J. B., and Van Soest P.J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Animal Sc.* 70: 3578-3596.
- García, S.C., Holmes, C.W. (2001). Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in pasture- based dairy systems, *Livestock Production Science*, 68:189-203.
- Garduño-Castro, Y., A. Espinoza-Ortega, C. E. González-Esquivel, B. Mateo-Salazar, and C. M. Arriaga-Jordán. (2007). In- tercropped oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) silage in the dry season for small-scale dairy systems in the Highlands of Central Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 41: 827-834.
- Georgievskii, V. I. (1982). General Information on Mineral. In: Mineral Nutrition of Animal. V.I. Georgievskii, B.N. Annenkov y V. T. Samokhin (Eds). Butterworths, London: 11-56.
- Gibson, J.P. (1989). Altering milk composition through genetic selection. *J. Dairy Sci.* 72: 2815-2825.
- González, V. H. (2008). Factores que afectan la productividad de los sistemas pastoriles de producción de leche Circular de Extensión. Publicación Técnico Ganadera No. 34 2008
- Gordon, F.J., Ferris, C.P. Patterson, D.C., Mayne, C.S. (2000). A comparison of two grassland-based systems for autumn-calving dairy cows of high genetic merit. *Grass Forage Sci.* 55: 83-96.
- Gravert, H.O. (1987). Dairy Cattle Production, World Animal Science. Kaufmann, H. Hagemeister, (Eds.). Elsevier Science Publishers. 107-131.
- Grosvenor C. E., Picciano M. F., Baumrucker C. R. (1992): Hormones and growth factors in milk. *Endocrine Rev.* 14, 710-728
- Grosvenor, C.E., Picciano, M.F., and Baumrucker, C.R. (1992). Hormones and growth factors in milk. *Endocr. Rev.* 14: 710–728.
- Grummer, R. R. (1991). Effect of feed on the composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* 74: 3244-3257.
- Hernández-Ortega, M., D. Heredia-Nava, A. Espinoza-Ortega, E. Sánchez-Vera, and C. M. Arriaga-Jordán. 2011. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common

- vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 43: 947-954.
- Hoffman, K., L.D. Muller, S.L. Fales, and L.A. Holden. (1993). Quality evaluation and concentrate supplementation of rotational pasture grazed by lactating cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2651-2663.
- INEGI (2007): Censo Agropecuario 2007. [www.inegi.org.mx/inegi/](http://www.inegi.org.mx/inegi/). /G\_Leyva\_Mexico\_censoagro2007.pdf (22 de marzo 2012).
- Iverson, S.J., and Oftedal, O.T. (1995). Phylogenetic and ecological variation in the fatty acid composition of milks. En: *Handbook of Milk Composition*. RG Jensen (Ed). New York Academic. pp. 789-826.
- Jenkins, T.C., and McGuire, M.A. (2006). Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *J. Dairy Sci.* 89: 1302-1310.
- Jones, E.A. (1977). Synthesis and secretion of milk sugars. En: *Comparative Aspects of lactation*. Peaker (Ed), Academic Press. London. pp. 77-94.
- Kay, J.K., Mackle, T.R., Bauman, D.E., Thomson, N.A., Baumgard, L.H. (2007). Effects of a supplement containing trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid on bioenergetic and milk production parameters in grazing dairy cows offered ad libitum or restricted pasture. *J. Dairy Sci.* 90, 721-730.
- Kay, J.K., Roche, J.R., Kolver, E.S., Thomson, N.A. and Baumgard, L.H. (2005). A comparison between feeding systems (pasture and TMR) and the effect of vitamin E supplementation on plasma and milk fatty acid profiles in dairy cows. *J. Dairy Res.* 73: 322-332.
- Kellaway, R., and Porta, S. (1993). *Feeding concentrates supplements for dairy cows*, Dairy Research and Development Corporation, Melbourne, Australia.
- Kelly, M.L., Kolver, E.S., Bauman, D.E., Van Amburgh, M.E., and Muller, L.D. (1998). Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1630-1636.
- Kennedy, E. McEvoy, M. Murphy, J.P., O'Donovan, M. (2009). Effect of restricted access time to pasture on dairy cow milk production, grazing behavior, and dry matter intake. *J. Dairy Sci.* 92:168-176.
- Keown, J.F., Everett, R.W., Empet, N.B., Wadell, L.H. (1986). Lactation curves. *J. Dairy Sci.* 69: 769-781.
- Knight, C.H. (2000). The importance of cell division in udder development and lactation. *Livest. Prod. Sci.* 66: 169-176.
- Knight, C.H., and Wilde, C.J. (1993). Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Livest. Prod. Sci.* 35: 3-19.
- Kolver, E. S., and L. D. Muller. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81:1403-1411.
- Kolver, E.S., and Muller, L.D. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81: 1403-1411.

- Kuhn, N.J., Carrick, D.T., and Wilde, C.J. (1980). Lactose synthesis: the possibilities of regulation. *J. Dairy Sci.* 63: 328-336.
- Macon, B., E. Sollenberger, E. Moore, R. Staples, H. Fike, and M. Portier. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.* 81: 2357-2366.
- McDowell, L. R., y Arthington, J. D. (2005). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Cuarta Edición. University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Mepham, T.B. (1982). Amino acid utilization by lactating mammary gland. *J. Dairy Sci.* 65: 287-298.
- Minson, D. J. 1990. *Forages in Ruminant Nutrition*. Academic Press, San Diego, USA.
- Morales-Almaráz, E., A. Soldado, A. González, A. Martínez-Fernández, I. Domínguez-Vara, B. de la Roza-Delgado, F. Vicente. (2010). Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding on total mixed ration. *J. Dairy Res.* 77 (2): 225-230.
- Neville, M.C., and Picciano, M.F. (1997). Regulation of milk lipid synthesis and composition. *Ann. Rev. Nutr.* 17: 159-184.
- Nickerson, T.A. (1978). Lactose. *Fundamentals of Dairy Chemistry*. BH Webb. AH Johnson. JA Alford (Eds). Avi. Publ. Co., Westport, CT. pp. 273-324.
- Oshima, M., and Fuse, H. (1976). Inverse interrelationship between the concentration of milk electrolytes and contents of lactose and protein observed in the normal milk of individual cows within the same herd. *J. Zootechnol. Sci.* 47: 485-493.
- Palmquist, D.L., Beaulieu, A.D., and Barbano, D.M. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* 76: 1753-1771.
- Peaker, M., and Neville, M.C. (1991). Hormones in milk: chemical signals to the offspring. *J. Endocrinol.* 131: 1-3.
- Peyraud, J. L., and L. Delaby. (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. Page 203 in *Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy, P. C., and J. Wiseman, eds. Nottingham University Press
- Peyraud, J.L., and Delaby, L. (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy, P.C. Wiseman, J. (Eds). Nottingham University Press, UK. pp. 203.
- Renner, E. (1982). *Milch und Milchprodukte in der Ernährung des Menschen*, Gelsenkirchen/Volkswirtschaftl. Verlag, München. 4. Aufl.
- Rust, J.W., C.C. Sheaffer, V.R. Eidman, R.D. Moon, and R.D. Mathison. 1995. Intensive rotational grazing for dairy cattle feeding. *American Journal of Alternative Agriculture*. 10: 147-151.
- SAS. (2002). *Statistical Analysis System*. Institute, SAS/STAT<sup>TM</sup>. User's guide. SAS institute, Inc. 10. Carry, NC.

- Schroeder, G.F., Delahoy, J.E., Vidaurret, I., Bargo, F. Gagliostro, G.A. and Muller, L.D. (2003). Milk fatty acid composition of cows fed a total mixed ration or pasture plus concentrates replacing corn whit fat. *J. Dairy Sci.* 86: 3237-3248.
- Steel, D.R.G., Torrie, J.H., and Dickey, D.A. 1997. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2ª ed. McGraw-Hill. México, D. F. pp. 622.
- Stockdale, C.R. (2000). Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.* 40: 913-921.
- Stockdale, C.R., Waler, G.P., Wales, W.J., Dalley, D.E., Birkett, A. Shen, Z., and Doyle, P.T. (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.
- Suttle. (2010). Assessing. And. Controlling. Mineral. Status. in. Livestock. . *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th Edition.
- Tozer PR, Bargo F y Muller LD (2004). The effect of pasture allowance and supplementation on feed efficiency and profitability of dairy systems. *J. Dairy Sci.* 87: 2902-2911.
- Underwood, E. J., Suttle, N. F. 1999. *The mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI Publishing. London, England. pp. 17-47.
- White, S.L., Bertrand, J.A., Wade, M.R., Washburn, S.P., Green, J.R., and Jenkins, T.C. (2001). Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 84: 2295-2301.
- Wijesundera, C., Shen, Z., Wales, W.J., and Dalley, D.E. (2003). Effect of cereal grain and fibres supplements on the fatty acid composition of milk fat of grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Res.* 70: 257- 265.
- Zartman, D.L., and S.R. Shoemaker. (1994). Chapter 6, Reproduction. In: *Intensive Grazing Seasonal Dairying: The Mahoning County Dairy Program*. The Ohio State University. Wooster, Ohio. April 1994. OARDC. Research Bulletin. 1190.