



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

## MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

Respuesta de la complementación mineral sobre el  
contenido mineral de leche completa y sus  
fracciones micelar e hidrosoluble de vacas F1  
(Holstein x Cebú)

### **T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

P R E S E N T A

MARÍA DE LOS ÁNGELES JARAMILLO  
CARVALLO

TUTOR: RENÉ ROSILES MARTÍNEZ

COMITÉ TUTORAL:  
ANDRÉS MANUEL DUCOING WATTY  
GERMÁN MENDOZA MARTÍNEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA**

A mi familia en especial mi madre y mi padre por ser por ser la base de mi familia sin la cual yo no estaría donde estoy, por ser unos luchadores incansables y las dos más grandes personas que conozco.

Al Doctor René Rosiles, por toda su ayuda, por hacerme crecer académicamente y por todos sus consejos, pero más que nada por ser mi amigo.

A todos mis amigos los cuales en algún momento han estado a mi lado en los buenos y malos momentos, por contribuir a la persona que soy hoy en día. En especial a Yaneth, Olloqui, Mónica, Sofía y Víctor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi respetable Jurado: Dr. Francisco A. Castrejón Pineda, MVZ René Rosiles Martínez, Dr. Gerardo Mariscal Landin, Dr. Héctor Basurto Camberos, Dr. Octavio Castelan Ortega.

Al Dr. Héctor Basurto, por su apoyo para la elaboración del trabajo experimental y recibirme en el Clarín como siempre lo ha hecho, haciendo mi estancia tan agradable.

Al Ingeniero Epigmenio Castillo por su gran ayuda y todas las facilidades prestadas para la realización del experimento.

Al Biólogo Daniel Díaz por guiarme en el camino de la estadística y por todos sus comentarios y consejos.

# RESPUESTA DE LA COMPLEMENTACIÓN MINERAL SOBRE EL CONTENIDO MINERAL DE LECHE COMPLETA Y SUS FRACCIONES MICELAR E HIDROSOLUBLE DE VACAS F1 (HOLSTEIN X CEBÚ)

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la complementación mineral con base en la medición de los elementos minerales en leche completa y sus porciones micelar e hidrosoluble de vacas F1. La proporción de P en la porción micelar fue de 89-92% del total de P de la leche. La leche completa en el muestreo 4 presentó diferencias significativas entre grupos ( $p < 0.001$ ). La porción micelar del grupo suplementado presentó valores de P significativos en el muestreo 4 y 5 ( $p < 0.05$ ). Para Na en leche completa en el muestreo 4 existieron diferencias significativas respecto al tiempo ( $p < 0.05$ ). La porción hidrosoluble presentó 89-96% del total de Na de la leche. El Ca de la porción micelar corresponde al 99% del total de Ca de la leche. En leche completa y su porción micelar en el muestreo 4 existieron diferencias significativas entre grupos ( $p < 0.001$ ) y ( $p < 0.05$ ), respectivamente. El Fe en su porción micelar representó al Fe total. Existieron diferencias significativas respecto al Fe leche completa en el muestreo 1 y 4 ( $p < 0.05$ ). La mayor cantidad de K se encontró en la porción hidrosoluble, representando el 89.8-90.2% del total de K de la leche. En los muestreos 2 y 4 existieron diferencias significativas entre grupos en leche completa ( $p < 0.001$ ). La porción micelar del grupo suplementado presentó valores de K significativos en el muestreo 4 ( $p < 0.05$ ). El Mg se encontró en mayor cantidad en la porción micelar representando el 79-83% del total de la leche. En leche completa en el muestreo 4 existieron diferencias significativas entre grupos ( $p < 0.001$ ). La porción micelar del grupo suplementado presentó valores de Mg significativamente diferentes en el muestreo 1, 2 y 5 ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.001$ ), respectivamente. En la porción hidrosoluble los valores de Mg en el grupo suplementado fueron mayores y significativos en los muestreos 4 y 5 ( $p > 0.05$ ). El P fue el mineral más sensible a la complementación de EM. La respuesta a la complementación se observó en la porción micelar siendo la más representativa para P y Ca. La porción hidrosoluble fue la más representativa para Na y K.

**Palabras clave:** Vacas, Leche completa, Porción micelar, Porción hidrosoluble, Fósforo, Calcio, Hierro, Sodio, Potasio, Magnesio.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 ¿Que es la leche?.....	3
2.2 Importancia nutricional de la leche .....	3
2.3 Composición de la leche.....	4
2.4 Composición mineral de la leche .....	6
2.5 Estructura de la leche .....	7
2.6 Factores que influyen sobre la composición de la leche.....	9
2.7 Suplementación mineral y su importancia .....	11
<b>3. OBJETIVO</b> .....	<b>15</b>
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>15</b>
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
5.1 Localización .....	16
5.2 Ensayo experimental .....	16
5.3 Colección de las muestras.....	17
5.4 Análisis mineral de las muestras .....	17
5.5 Lectura mineral de las muestras.....	19
<b>6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	<b>21</b>
6.1 Modelo estadístico.....	21
<b>7. RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>
7.1 Fósforo .....	22
7.2 Sodio .....	24
7.3 Calcio.....	25
7.4 Hierro.....	27
7.5 Potasio.....	28

7.6 Magnesio .....	29
<b>8. DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
8.1 Fósforo .....	32
8.2 Calcio.....	34
8.3 Sodio .....	36
8.4 Potasio.....	37
8.5 Hierro.....	38
8.6 Magnesio .....	39
8.7 Cobre.....	40
8.8 Zinc.....	40
8.9 Factores que modifican la cantidad mineral en la leche.....	40
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>10. REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>

## LISTADO DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> Principales componentes de la leche de vaca.....	49
<b>CUADRO 2.</b> Contenido de elementos minerales en la leche de vaca.....	50
<b>CUADRO 3.</b> Cationes y aniones en leche de vaca completa y sus fracciones soluble y micelar.....	51
<b>CUADRO 4.</b> Necesidades de elementos minerales para vacas lecheras en producción .....	52
<b>CUADRO 5.</b> Requerimientos minerales para ganado lechero en condiciones tropicales.....	53
<b>CUADRO 6.</b> Principales trastornos ocasionados por deficiencias de elementos minerales.....	54
<b>CUADRO 7.</b> Composición del alimento comercial Abatez.....	55
<b>CUADRO 8.</b> Distribución de los animales en el ensayo experimental.....	56
<b>CUADRO 9.</b> Concentración promedio de elementos minerales en pasto y concentrado para la estimación de la complementación de acuerdo al NRC.....	57
<b>CUADRO 10.</b> Complementación de elementos minerales en el alimento concentrado de las vacas de acuerdo a los requerimiento del NRC,2002.....	58
<b>CUADRO 11.</b> Medias ajustadas de P en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y suplementadas .....	59
<b>CUADRO 12.</b> Medias ajustadas de Na en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y suplementadas .....	60
<b>CUADRO 13.</b> Medias ajustadas de Ca en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y suplementadas .....	61
<b>CUADRO 14.</b> Medias ajustadas de Fe en leche completa y en la porción micelar proveniente de vacas testigo y suplementadas.....	62

<b>CUADRO 15.</b> Medias ajustadas de K en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y suplementadas .....	63
<b>CUADRO 16.</b> Medias ajustadas de Mg en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y suplementadas .....	64
<b>CUADRO 17.</b> Porcentaje de la distribución de los minerales en las porciones micelar e hidrosoluble de la leche proveniente de vacas testigo y suplementadas.....	65
<b>CUADRO 18.</b> Calculo de la distribución de los elementos minerales entre la porción hidrosoluble y micelar de la leche.....	66
<b>CUADRO 19.</b> Producción de leche y proteína cruda de vacas testigo y complementadas .....	67

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Respuesta animal a un incremento de los niveles dietéticos de un nivel esencial de un elemento mineral.....	68
<b>Figura 2.</b> Concentración de P en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo y con complementación.....	69
<b>Figura 3.</b> Concentración promedio de P en leche de bovino completa, porción micelar e hidrosoluble.....	70
<b>Figura 4.</b> Concentración promedio de P en leche de bovino completa, porción micelar e hidrosoluble entre los tratamientos correspondiente a las vacas en primero, segundo y tercer tercio de lactación.....	71
<b>Figura 5.</b> Concentración de Na en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo y con complementación mineral.....	72
<b>Figura 6.</b> Concentración promedio de Na en leche de bovino completa, porción micelar e hidrosoluble.....	73
<b>Figura 7.</b> Concentración de Ca en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo y con complementación mineral.....	74
<b>Figura 8.</b> Concentración promedio de Ca en leche de bovino completa, porción micelar e hidrosoluble.....	75
<b>Figura 9.</b> Graficas antes-después que muestran el cambio del contenido de Ca durante cinco muestreos de leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenidos en vacas testigo y con complementación mineral durante los tercios de lactancia.....	76
<b>Figura 10.</b> Concentración de Fe en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo y con complementación mineral.....	77

<b>Figura 11.</b> Concentración promedio de Fe en leche de bovino completa y porción micelar.....	78
<b>Figura 12.</b> Concentración de K en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo y con complementación mineral.....	79
<b>Figura 13.</b> Concentración promedio de K en leche de bovino completa, porción micelar e hidrosoluble.....	80
<b>Figura 14.</b> Concentración de Mg en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo y con complementación mineral.....	81
<b>Figura 15.</b> Concentración promedio de Mg en leche de bovino completa, porción micelar e hidrosoluble.....	82

## 1. INTRODUCCIÓN

La complementación mineral, ha sido y será la base angular para el mejor desempeño productivo y reproductivo de cualquier animal, sin importar su ubicación, su estado funcional y/o el nivel nutricional en el que se encuentre.

Los elementos minerales (EM) se clasifican en macrominerales que son: Calcio (Ca), Fosforo (P), Sodio (Na), Cloro (Cl), Magnesio (Mg) Azufre (S) y Potasio (K) y microminerales o minerales traza compuestos por: Cobre (CO), Cobalto, (Cu), Zinc (Zn), Yodo (I), Selenio (Se), Manganeseo (Mn) y Hierro (Fe), entre los más importantes. Los macrominerales se requieren en cantidades relativamente altas por el organismo y se reportan en porcentaje, mientras que los minerales traza, se requieren en concentraciones mínimas y se reportan en  $\mu\text{g/g}$  (microgramos por gramo) o en ppb (partes por billón).<sup>1</sup>

Los EM cumplen un importante papel en la nutrición porque aun cuando no proporcionan energía, son esenciales para la utilización y síntesis biológica de nutrientes esenciales e intervienen tanto en forma directa como indirecta en todos los procesos fisiológicos y metabólicos de cualquier ser vivo; por lo tanto, su deficiencia cobra mayor interés, debido a sus efectos negativos traducidos en pérdidas cuantiosas sobre la rentabilidad de la empresa pecuaria.<sup>1</sup>

En muchos establos lecheros, generalmente existen problemas debido a la deficiencia de uno o más EM; sin embargo, esto se presenta en forma subclínica lo cual no es fácilmente diagnosticado.<sup>2</sup> Además, en los programas de complementación nutricional con EM en diversas regiones tropicales, se enfrentan con el problema de no contar con suficiente información bibliográfica, para determinar cuáles son los minerales requeridos y en qué cantidades; a la falta de datos sobre el consumo de EM que son necesarios para formular mezclas

minerales adecuadas, a complementos que contienen cantidades inadecuadas o desequilibradas de EM, a mezclas minerales estandarizadas que son inadecuadas para diversas regiones ecológicas y dificultades de transporte o costo de los minerales.<sup>2,3</sup> Las deficiencias de EM en el ganado, han sido reportadas en casi todas las regiones del mundo. Los EM más críticos para los rumiantes en pastoreo son; Ca, P, Na, Co, Cu, I, Se y Zn. Se debe considerar que para realizar una adecuada nutrición mineral, se debe saber cuánto de cada EM necesita consumir el animal en cada estado fisiológico y cuánto es aportado por la ración, por lo que es importante conocer el contenido y biodisponibilidad de EM de los diferentes alimentos que actualmente se utilizan en la preparación de las raciones.<sup>3</sup>

La optimización de la alimentación, significa conocer la interacción que ofrece una complementación mineral en combinación con los diferentes forrajes y concentrados en una dieta, con objeto de obtener entre estas mezclas, la mejor rentabilidad para el negocio, sin perjudicar el estado productivo de los animales.

Por lo cual se busca desarrollar los criterios de complementación mineral en la dieta a través de la concentración mineral en la leche de las vacas, por medio de la medición de las fracciones total, soluble y micelar de la leche, para cubrir los requerimientos de los animales. Esto con el fin de prevenir y resolver deficiencias que afecten la producción y calidad de la leche y evaluar el ajuste de las concentraciones de microelementos en la leche para mejorar su calidad.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 ¿Qué es la leche?

Desde el punto de vista fisiológico, la leche es la secreción de las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, tras el nacimiento de la cría, con la finalidad básica de alimentarla durante la primera etapa de la vida, siendo el alimento ideal, que le aporta los nutrientes necesarios para sobrevivir y crecer.<sup>4,5</sup>

Desde el punto de vista calidad de la leche, la leche es un producto íntegro no alterado ni adulterado y sin calostros (primera leche después del parto) del ordeño higiénico, regular y completo de las hembras mamíferas sanas y bien alimentadas. Es un alimento que puede ser considerado como equilibrado. Es aceptado por la población humana como de los más estables y básicos.<sup>6</sup>

Desde el punto de vista legal, como alimento para consumo humano, la leche se define como la secreción natural de las glándulas mamarias de las vacas sanas o de cualquier otra especie animal, libre de calostro. La denominación genérica de leche comprende única y exclusivamente a la leche de vaca. Cuando la leche procede de otras especies, se designa con el nombre de la especie correspondiente: leche de oveja, leche de cabra, leche de burra, leche de búfala, etc.<sup>7</sup>

### 2.2 Importancia nutricional de la leche

La composición y el valor nutritivo de la leche, radica en su rico contenido en proteínas de alta calidad, Ca, P, vitaminas liposolubles A y D, y vitaminas del complejo B, así mismo por su aporte de energía y la contribución en minerales

osteotróficos. Estas características hacen que la leche forme parte esencial de la dieta del hombre; especialmente en períodos de crecimiento y desarrollo (infancia y adolescencia), y en situaciones fisiológicas concretas (embarazo y lactancia). Su consumo también contribuye al buen mantenimiento de la masa ósea en el adulto y el anciano, ya que es el alimento natural que mayor número de sustancias nutritivas aporta a la dieta. Otros alimentos son más ricos en algún nutriente en particular; sin embargo, ninguno la supera como alimento equilibrado en componentes necesarios para el ser vivo.<sup>8,9</sup> La calidad nutricional de la leche no solo radica en su contenido de nutrientes básicos, sino también en la alta digestibilidad y utilización de éstos por el organismo, donde solo el aporte de proteínas de alto valor biológico, de Ca y P justifican dicha importancia.<sup>5,9</sup>

### 2.3 Composición de la leche

La leche es una compleja mezcla de distintos componentes en suspensión o emulsión y otros en forma de solución verdadera, que presenta sustancias definidas: agua, grasa, proteína, lactosa, vitaminas, minerales, etc. Químicamente, es uno de los fluidos más completos que existen. El término "sólidos totales" se usa ampliamente para indicar todos los componentes con excepción del agua y el de "sólidos no grasos" cuando se excluye el agua y la grasa. El agua representa aproximadamente entre un 82% y un 82.5% de la leche; los sólidos totales alcanzan habitualmente la cifra de 12% a 13% y los sólidos no grasos casi siempre están muy próximos al 9%.<sup>10</sup>

La leche está compuesta por agua, grasa, proteínas, azúcares, vitaminas (C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, niacina, ácido pantoténico, ácido fólico, biotina, colina, inositol, A, D, E y K) y Na, K, Ca, Fe, Mg, P, cloruros, entre otros. Además de otras sustancias que están en menor concentración. (Cuadro 1)

Su composición varía de acuerdo con numerosos factores, tales como la especie, raza, tipo y frecuencia de alimentación, época del año, horario y frecuencia de ordeño, salud del animal, etapa de lactación, etc.<sup>10,11</sup>

## 2.4 Composición mineral de la leche

La leche de vaca contiene en promedio 7 a 9 g de EM por litro, es decir, alrededor de 6 a 8 g/100 g de la materia seca de leche. Representan una pequeña fracción de los sólidos de la leche, pero tienen gran importancia nutricional y tecnológica, en particular por los aportes de Ca y P. (Cuadro 2)

Las sales de la leche se encuentran principalmente como fosfatos, citratos, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de Na, K, Ca y Mg. La mayoría de estos elementos son de importancia en la nutrición y en la preparación, procesamiento y almacenamiento de productos lácteos debido a su marcada influencia en la conformación y estabilidad de las proteínas de la leche, especialmente las caseínas.<sup>12</sup>

En el Cuadro 2 se muestra que el K, Ca y citrato son los minerales que se encuentran en mayor proporción en la leche. Se observa, que el Na, el Ca y el P inorgánico son los minerales que sufren mayor variación. Tanto el rango usual de Ca (1000-1400 µg/g), como los extremos reportados (650-2650 µg/g), señalan que el Ca es el mineral que sufre una mayor variación, donde la diferencia entre el contenido más bajo y el más alto informado es de 2000 µg/g, estos extremos son los valores más altos y más bajos que se han encontrado en distintos estudios en diversas condiciones.<sup>12</sup>

## 2.5 Estructura de la leche

La estructura de la leche es compleja y muy organizada; las sales y los azúcares se encuentran formando una solución acuosa, mientras que las proteínas, en su mayor parte, se encuentran en estado coloidal y las grasas en

emulsión, constituyendo la fase dispersante una disolución acuosa de sales, azúcares y proteínas.<sup>13</sup>

En la leche los EM están asociados entre ellos y con proteínas y dependiendo del tipo de ion, son difusibles o precipitables (Na, K y Cl) (porción soluble) y parcialmente asociados con las moléculas de caseína (Ca, Mg, fosfato y citrato) que forman unas grandes partículas coloidales llamadas micelas de caseína (porción micelar)<sup>13,14</sup> (Cuadro 3).

Los EM pasan de la sangre a la leche mediante sistemas de transporte activos, aspecto que explica las diferencias de concentración entre la sangre y la leche. La distribución y concentración de estos elementos en la mezcla de fases en equilibrio que constituyen la leche, difiere de acuerdo al elemento de que se trate.<sup>15</sup> En la fase acuosa se encuentran disueltos conjuntamente con lactosa y compuestos nitrogenados solubles, sales minerales u orgánicas como citratos, fosfatos y cloruros de Ca, K, Mg, Na y trazas de Fe.<sup>10,13</sup> Una parte de los metales, sobre todo los alcalinos y los halógenos, se encuentran libres en forma de iones en solución.<sup>16,17</sup> En la fase coloidal están en suspensión las micelas de caseína insoluble que contienen aproximadamente un 20% del Ca y P unidos a su estructura, y sales compuestas de fosfato de Ca coloidal, citratos y Mg en proporciones fijas, que contribuyen a estabilizar las micelas.<sup>14,16</sup> Los glóbulos de grasa emulsionados contienen un 1% de fosfolípidos y en sus membranas se fijan Fe, Cu, Zn y Mn. Más de la mitad del Fe y alrededor del 80% del Zn y Cu se fijan a micelas de caseína, y entre el 15 al 30% del Fe, Zn y Cu se unen a las proteínas solubles. Las lactoalbúminas contienen un átomo de Ca por molécula.<sup>14,16,17</sup>

Por otro lado se menciona que una parte de los EM de la leche se encuentra asociada a otros componentes. 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). Además la leche contiene oligoelementos (zinc,

silicio, aluminio, hierro, etc.) cuyas variaciones están asociadas a cambios de alimentación y a aportes externos (contaminación atmosférica, ordeño).<sup>13</sup>

El P inorgánico está presente en la leche en diversas formas, 50% (10mM) aproximadamente en estado coloidal y 50% hidrosoluble. En la fracción soluble el P inorgánico puede estar libre o combinado con Ca en forma de fosfato de Ca, de baja solubilidad. En el estado coloidal, (fosfato inorgánico y orgánico) puede combinarse con el Ca para formar fosfato cálcico micelar, que desempeña un papel fundamental en la estructura y la estabilidad de las micelas de caseína.<sup>13,16</sup> En el caso de la leche cruda de vaca, ésta contiene valores significativos de P, con una proporción de P: Ca de aproximadamente 0,8:1 relación benéfica para la salud.<sup>14</sup>

## 2.6 Factores que influyen sobre la composición de la leche.

Existen muchos factores que modifican la composición de la leche, ya sea de manera directa o indirecta y muchas veces estos cambian en la composición entre un ordeño y otro. Estos no pueden ser atribuidos a una causa particular, ya que estas modificaciones se deben al efecto de un conjunto de factores ligados al ambiente, (época del año, clima, etc.), al manejo (ordeño), alimentación (tipo, calidad, cantidad y frecuencia) y al animal (factores genéticos y raciales, etapa y número de lactancia, estado de salud).<sup>10,18,19</sup>

### 2.6.1 Factores raciales y genéticos

La raza y las características individuales dentro de una misma raza, así como la [selección](#) genética, son factores que modifican la composición de la leche. Además de la grasa, la cual es el componente lácteo más variable, también existen diferencias raciales en cuanto a la proporción de proteína total y tipo de proteína producida en la leche. Es así como las razas Jersey y Guernsey se presentan los mayores porcentajes de proteína total, caseína y suero.<sup>20,21</sup>

## 2.6.2 Factores Medio Ambientales y fisiológicos

La composición físico-química de la leche puede variar de acuerdo con la etapa de lactación, número de parto, edad, alimentación y manejo entre otros. El número de lactancia y/ o la edad, tiene un efecto significativo sobre el porcentaje y la producción total de grasa, el porcentaje de proteína de la leche y la composición de dicha proteína.<sup>21,22,23</sup>

Se ha informado que la producción de proteína disminuye en vacas de más de 3 años de edad, observándose un 0,4% menos de producción en vacas de más de 5 lactancias. Esa caída parece ocurrir primeramente en la fracción de la caseína, aunque también se informa de una disminución en la fracción de la proteína del suero. La etapa de lactación influye en el contenido de grasa, proteína y EM. Al inicio de la lactancia, es decir cuando se está produciendo calostro, se encuentran altas concentraciones de grasa, de proteína, y EM. A su vez, la proteína total cae abruptamente en pocos días, en la transición de calostro hacia leche y alcanza el mínimo alrededor de la 5 a 10 semana de lactancia, correspondiendo con la máxima producción de leche, posteriormente el contenido de proteína tiende a aumentar gradualmente conforme progresa la lactancia.<sup>24,25</sup>

Se informan variaciones estacionales en la composición de la leche, pero este efecto puede confundirse con la etapa de la lactancia de las vacas.<sup>22</sup> Aún así, se reconoce que hay un efecto de la estación del año sobre el porcentaje de grasa de la leche, donde los meses de verano se caracterizan por promediar 0,4% menos de grasa que los meses de invierno.<sup>26</sup> Se ha observado que tanto el porcentaje como la producción de proteína son mayores durante el otoño e invierno que en primavera y verano. El estado de la lactancia y las prácticas de alimentación sin embargo, confunden esas observaciones; por ejemplo, se informa que vacas en primavera y a pastoreo producen leche con mayor porcentaje de

proteína.<sup>22,23</sup> La época del año y el mes influyen para las concentraciones de todos los indicadores, al encontrarse el mejor comportamiento durante el período lluvioso como expresión de una mayor disponibilidad de pasto; se indica que en las vacas alimentadas a partir de pastos y forrajes, los sólidos no grasos y la proteína bajan en la seca y se incrementan cuando llega la abundancia de pastos en la época de lluvia.<sup>2</sup> La época del año tiene un marcado efecto sobre la composición de la leche cruda, siendo [los valores](#) de grasa, sólido no grasos, sólidos totales y densidad afectados de una manera significativa, lo cual puede estar dado por condiciones medioambientales y de manejo desfavorables.<sup>22</sup> La época del año tiene un efecto directo sobre la producción y composición de la leche. La producción de leche [mostró](#) un mejor comportamiento en la época de lluvia, con diferencias significativas entre rebaños.<sup>23</sup> Dicho comportamiento se puede explicar por el incremento de la disponibilidad y calidad de la gramínea, sobre todo en esta época del año, lo cual se traduce en un mayor aporte de nutrientes.<sup>27</sup>

## 2.6.2 Factores nutricionales y de manejo alimentario.

La nutrición constituye la vía más efectiva y rápida para modificar la composición química de la leche. Aunque los cambios muchas veces, no sean tan evidentes, éstos pueden haber ocurrido significativamente. Por ejemplo, la concentración total de proteína puede permanecer constante, pero con alteraciones importantes en la relación entre la caseína (proteína verdadera) y el nitrógeno no proteico.<sup>28</sup> De la misma manera, pueden suceder cambios sustanciales en la composición de los ácidos grasos sin ningún cambio aparente en el porcentaje total de grasa de la leche.<sup>24</sup> En ganado de trópico, los pastos tropicales utilizados como único alimento no satisfacen los requerimientos nutricionales de las vacas en producción, lo que trae como consecuencia una disminución de sus parámetros productivos y algunas alteraciones en los componentes químicos de la leche.<sup>3,20</sup>

La concentración de la proteína cruda dietaria afecta la producción de leche y consecuentemente el porcentaje de proteína láctea, sin afectar mayormente el porcentaje de materia grasa; salvo que se afecte el crecimiento microbiano y la actividad celulolítica, que es la que contribuye con el sustrato para la síntesis de materia grasa en la glándula mamaria. Así también, todos aquellos factores que influyen sobre la fermentación ruminal y el crecimiento microbiano afectan el contenido de proteína de la leche.<sup>23</sup> Un insuficiente aporte de proteína dietaria reduce la producción de proteína láctea, pero este efecto puede ser minimizado con la incorporación a la dieta de alimentos con proteína de baja degradabilidad ruminal.<sup>2</sup> También, bajo ciertas circunstancias productivas y de manejo alimentario, es posible usar la complementación de aminoácidos protegidos, para mejorar el contenido de proteína de la leche.<sup>26</sup>

La energía de la dieta es el factor nutricional de mayor importancia que afecta la producción y porcentaje de proteína de la leche; ya sea en cantidad, densidad energética o fuente de energía. Un incremento de la energía dietaria produce un aumento de la producción de leche y del porcentaje de proteína, sólo dentro de ciertos [límites](#) de proteína en la ración (aproximadamente hasta el 18%). La mala calidad de la dieta, la baja digestibilidad de la fibra y el pobre aporte de energía son las causas primarias de alteraciones en los componentes [lácteos](#) en la época de seca, lo cual se revierte en la época de lluvia, al incrementarse la disponibilidad de pastos y la calidad de la dieta.<sup>20</sup> La alimentación (tipo, calidad, cantidad, [equilibrio](#) de la dieta) afecta directamente la calidad físico-química de la leche. Una alimentación adecuada a los requerimientos de los animales es un requisito indispensable para el logro de una leche y productos de calidad.<sup>12,23</sup>

La composición mineral de la leche es influenciada por diversos factores, que incluyen la raza, la individualidad de la vaca, el estado de lactancia, la

alimentación, la estación del año, la cantidad de proteína presente en la leche y sus diferentes tipos, así como la infección de la ubre (mastitis).<sup>12</sup>

Por ejemplo, durante el inicio de la época de lactancia descienden los contenidos de Ca y P, para al final volver a aumentar ligeramente. Además, el contenido de Ca se ve influido por la época del año.<sup>10</sup>

## 2.7 La complementación mineral y su importancia

Los EM son componentes indispensables de la alimentación de cualquier animal; por lo tanto, para entender la función de los mismos sobre el comportamiento productivo, reproductivo y económico es necesario en principio, considerar un buen esquema de alimentación de los animales.<sup>29</sup> Son elementos fundamentales en la alimentación, tanto para el crecimiento, como para el desarrollo y la salud del animal, ejerciendo sus funciones a diferentes niveles dentro del organismo tales como:<sup>1</sup>

- Componentes estructurales de tejidos corporales
- Constituyentes de fluidos corporales y tejidos
- Catalizadores de enzimas y sistemas hormonales, como integrantes específicos de metaloenzimas o también activadores de estos sistemas.

Los EM se clasifican en 1) macrominerales tales como: Ca, P, Mg, Na, K, Cl y S, de los cuales el organismo necesita mayores cantidades y 2) microminerales como: Zn, Mn, Fe, Cu, Co, Mo, I, Se y otros más de los cuales el organismo necesita sólo cantidades mínimas, pero que son indispensables para el buen funcionamiento del organismo.<sup>1</sup>

Los requerimientos de EM de los animales, establecidos en las tablas de requerimientos nutritivos del National Research Council (NRC, 2001) consideran que la dieta aporta EM con una biodisponibilidad o aprovechamiento específico para cada elemento en particular. (Cuadro 4)

La dieta debe tener las sales químicas utilizadas en los suplementos minerales, ya que de lo contrario se puede dar el caso, que la ración suministrada a los rumiantes aporte la cantidad adecuada, pero el animal no los asimile.<sup>30</sup> Los requerimientos minerales del ganado bovino productor de leche, se ven afectados por el nivel de producción, la edad, el nivel y formulación química del alimento, el consumo del suplemento mineral, raza y adaptación animal.<sup>29,30</sup>

En el caso de los rumiantes, no se debe minimizar la intervención de los EM en el metabolismo ruminal. Las bacterias y protozoos presentes en este medio, como en todo ser vivo, requieren EM para lograr un óptimo crecimiento y reproducción, y también para lograr producir la degradación de los alimentos.<sup>20</sup> Gran parte de las mermas que se suscitan en la producción de los rumiantes por deficiencias de EM se deben a una baja eficiencia de conversión alimenticia, debido a una menor digestibilidad y aprovechamiento de nutrientes.<sup>29</sup>

En condiciones de pastoreo los forrajes representan la única fuente de EM para el ganado, y tienen un contenido muy variable ya que independientemente de la época del año existen factores asociados al suelo, clima y la especie forrajera que modifican su concentración.<sup>3</sup>

Factores asociados al suelo. 1) La textura o tipo de suelo puede afectar la absorción de los minerales por parte de los forrajes; 2) La materia orgánica, incrementa la disponibilidad de los microminerales ya que interviene en la retención y transporte de los mismos dentro de los forrajes; 3) El *pH* afecta la solubilidad y disponibilidad de los minerales para los forrajes, por ejemplo; un *pH* de 5.5 - 8.5 permite mayor absorción de minerales; 4) La humedad: modifica la solubilidad y disponibilidad, en los suelos con poca humedad aumenta el N disponible, disminuyendo la concentración de P.<sup>3</sup>

Factores asociados al clima y temperatura. Las zonas de alta precipitación y con temperatura elevada ocasionan erosión y deslave de minerales. Mientras que las bajas temperaturas limitan la absorción de minerales en los forrajes.

Factores asociados a la especie forrajera. La concentración de minerales en la planta no solamente está asociada al contenido mineral del suelo. El contenido de éstos en la planta varía de acuerdo con los siguientes factores: 1) Género y especie, las plantas arbustivas y leguminosas son más ricas en minerales que las gramíneas; 2) Madurez de la planta, conforme aumenta la edad del forraje el contenido mineral disminuye; 3) Manejo del forraje, la aplicación de fertilizantes al suelo (nitrógeno), y secado al sol y/o exposición a lluvia y viento por tiempo prolongado.<sup>3</sup>

Por lo anterior, la adecuación de los requerimientos minerales del ganado lechero con base a las praderas es muy variable (Cuadro 5), lo cual se traduce en problemas asociados a deficiencias y excesos minerales, generando desbalances y con ello severas consecuencias en el comportamiento productivo de los mismos (Cuadro 6).<sup>3,29</sup>

La presentación más frecuente de las deficiencias minerales, se manifiesta en signos inespecíficos, asociados con baja productividad del animal, ya sea expresada como baja producción de leche, ganancia diaria de peso, bajos índices de fertilidad o incremento en la tasa de morbilidad de ciertas enfermedades.<sup>1,3</sup>, La presentación aguda de cuadros de deficiencias minerales sin embargo, también ocurre bajo condiciones productivas específicas, como es el caso de la hipocalcemia, la cual se presenta principalmente al inicio de la lactancia, o bien como el caso de la deficiencia de magnesio, también llamada tetania de las praderas, la cual tiene una signología bien definida y está asociada a una estación del año (invierno) y a condiciones agroecológicas específicas del país, por ello la necesidad de proporcionar complementos con EM y vitaminas.<sup>31,32</sup>

Para la mayoría de las especies los complementos de EM se incorporan en las raciones de forraje o bien en las dietas integrales, lo que asegura un suministro uniforme y eficaz de los EM necesarios. Esta forma de suministro tiene la ventaja de una mayor exactitud para cubrir los requerimientos de acuerdo al peso del animal, a las ganancias diarias de peso, a la producción diaria de leche, al contenido mineral de la ración, o bien de los pastos y del agua, entre otros. De acuerdo a la categoría de animal y estado fisiológico, y a la calidad de la mezcla mineral, se deberá agregar entre 50 y 300 g de la misma por día por animal.<sup>33,34</sup> Con 3 a 4 kg de un buen alimento concentrado, se puede lograr un consumo de 200 a 300 g/día del complemento mineral.

El valor dietético del EM que sólo promueve una respuesta óptima es el requerimiento mínimo, el cual varía (Figura 1). La concentración óptima permite que el animal logre su potencial genético para su adecuado funcionamiento después de esta zona, las concentraciones de EM fluctúan entre concentraciones bajas y algo seguros, (resultando en un desequilibrio), hasta valores que causan toxicidad que pueden provocar la muerte del animal. Sin embargo, la regulación homeostática se encargo muchas veces de normalizar los consumos marginales deficientes o excesivos, cambiando la eficiencia de absorción o excreción. La variabilidad en la respuesta es suficientemente amplia para la mayoría de los minerales, por lo que las concentraciones dietéticas pueden ser añadidas para satisfacer los requerimientos mínimos, sin preocupaciones de toxicidad o deficiencias.<sup>35</sup>

### **3. Objetivo**

Determinar el efecto de la complementación mineral con base en la medición de los elementos minerales en leche completa y sus porciones micelar e hidrosoluble, de vacas F1 cruce Cebu /Holstein en pastoreo en trópico húmedo.

### **4. Hipótesis**

La complementación de EM aumentará su presencia en la leche entera o en las porciones micelar e hidrosoluble de vacas F1. Donde la porción micelar es la más representativa para la medición de los microminerales (Cu, Fe, Zn) y macrominerales (Ca, P, Mg), mientras que la porción hidrosoluble será la mejor indicadora para la medición de hidrosolubles como el Na y K.

## 5. Material y Métodos

### 5.1 Localización

Para el desarrollo del presente trabajo se emplearon las vacas del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubicado en el municipio de Tlapacoyan, estado de Veracruz. En esta área se cuenta con clima Af (m) w” (e) (trópico húmedo) con tres épocas definidas: 1) secas (febrero–mayo), 2) lluvias (junio-septiembre) y 3) nortes (invierno) (octubre-enero).

La alimentación de las vacas consiste en pastoreo rotacional con zacate (*Axonopus* spp, *Paspalum* spp) y pastos establecidos (*Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola*); con una carga animal promedio anual de 2.5 unidades animal por hectárea. Para estimar el consumo mineral aportado por la pradera se realizaron muestreos utilizando el método doble comparativo, así como también se estimó el aporte mineral del complemento alimenticio consumido, cuyo consumo se determinó por diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado, el concentrado suministrado fue de la marca comercial “Abatez lechero 16%, alimento balanceado de Teziutlán (Cuadro 7).

Se ofreció 1.5 kg de alimento/vaca/día durante el ordeño.

### 5.2 Ensayo Experimental

Se colectaron muestras de leche de 30 vacas F1 (Cebú x Holstein), en primero, segundo y tercer tercio de lactación, las cuales se dividieron en dos grupos; grupo testigo y grupo complementado. La distribución de los animales a los tratamientos se realizó de manera aleatoria y se muestra en el Cuadro 8

El grupo testigo continuó con la alimentación habitual del rancho. El grupo experimental se complementó con los minerales basados en la medición de la cantidad total de acuerdo con las necesidades señaladas en el NRC (2001), los cuales se les proporcionó de manera individual mezclados con 1.5 kg del concentrado comercial "Abatez", durante el ordeño.

Se hicieron 5 muestreos el primero considerado como basal (antes del tratamiento) y a los 15, 30, 45 y 60 días post complementación mineral.

### 5.3. Colección de las muestras

Se tomaron 30 ml de leche directamente de los 4 cuartos de la glándula mamaria al comienzo del ordeño. Las vacas son ordeñadas una sola vez al día, por la mañana. Las muestras colectadas se congelaron y fueron trasladadas al laboratorio de Toxicología del Departamento Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Conjuntamente al muestreo de la leche se colectaron muestras de forraje correspondientes al potrero en el que se encontraban los animales, correspondiente al día del muestreo.

### 5.4. Análisis mineral de las muestras

El análisis e identificación de los componentes de cada muestra se llevó a cabo en el laboratorio del CEIEGT y el Departamento de Nutrición Animal en el área de Toxicología de la UNAM.

#### 5.4.1. Leche completa

Para la estimación de la concentración mineral de la leche completa, la muestra fue previamente descongelada a baño maría y homogeneizada, para su

centrifugación, la cual se realizó a 2500 rpm durante 15 minutos, esto con el fin de eliminar la grasa de la leche. Posteriormente se prosiguió a realizar su digestión ácida, para lo cual se pesaron 2 ml de leche a la cual se le agregaron 3 ml de ácido nítrico concentrado al 65% y se procedió a la activación de la digestión por medio de calor con un sistema de refrigeración para evitar la pérdida de la muestra. Esta se calentó hasta que la muestra adquiriera un color claro y sin la presencia de grumos de leche. Se dejó enfriar y cada muestra ya digerida se aforó a 25 ml con agua destilada.

#### 5.4.2. Porción micelar y soluble

Para la obtención de las porciones micelar y soluble de la leche, se tomó 1ml de leche de las muestras previamente centrifugadas a 2500 rpm durante 20 minutos y se procedió a su precipitación por medio de la adición de metanol a una relación de 4:1, cada tubo con leche y alcohol se agitaron para favorecer la exposición de la proteína al metanol para después ser centrifugados a 3000 rpm durante 20 minutos. De esa manera se obtuvo un precipitado correspondiente a la porción micelar y un sobrenadante correspondiente a la porción soluble.

La porción soluble se separó y se refrigeró, la porción micelar se sometió a digestión ácida, para ello se le agregaron 3 ml de ácido nítrico concentrado al 65% y se procedió a la activación de la digestión por medio de calor con un sistema de refrigeración para evitar la pérdida de la muestra. Esta se calentó hasta que la muestra adquirió un color claro y sin la presencia de grumos de leche. Se dejó enfriar y cada muestra ya digerida se aforó a 12 ml con agua destilada.

#### 5.4.3. Forraje y alimento concentrado

La lectura EM del forraje y concentrado se realizó en muestras previamente molidas a un tamaño de partícula de 1 mm. Se tomó 1 g de muestra llevada a

cenizas para su subsecuente digestión ácida, por medio de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico y se activó, por medio de calor con un sistema de refrigeración para evitar la pérdida de la muestra. Las muestras se calentaron hasta adquirir un color claro y sin la presencia de grumos o partículas grandes de alimento. Se dejó enfriar y cada muestra ya digerida se aforó a 25 ml con agua destilada.

La concentración promedio de EM (ug/g) en pasto y concentrado para la estimación de la complementación de acuerdo al NRC, se muestra en el Cuadro 9.

Los resultados de los análisis del contenido de EM constituyó la base para la complementación mineral. Ya que con estos resultados se complementó lo faltante o se eliminó el excedente, al compararlos con los valores de referencia del NRC para vacas lecheras del trópico (Cuadro 10).

## 5.5. Lectura del elemento mineral en las muestras

### 5.5.1. Espectrometría de emisión y absorción atómica

Los EM, tanto de la leche como del forraje y concentrado, se analizaron por espectrometría de emisión y absorción atómica con flama de aire/acetileno. La lectura de estos EM obtuvo en muestras previamente digeridas en medio ácido y sistema cerrado con condensación.

Las lecturas con flama se obtuvieron con las especificaciones señaladas en el manual de operación de fabricante del equipo Perkin Elmer, considerando los siguientes parámetros:

- 1) Flama con acetileno y aire
- 2) Nebulizador para la absorción o de emisión
- 3) Avertura espectral

- 4) Longitud de onda del elemento mineral
- 5) Concentración característica para verificación (estándar).

La concentración final se obtuvo al hacer un estimado de la concentración del elemento a partir de la absorbancia en la curva de regresión previamente realizada con concentraciones conocidas. Así se obtuvo la concentración inicial que se multiplicó por el volumen de aforo y se dividió entre el peso de la muestra. Este valor se representó en microgramos del elemento por gramo de muestra para: Ca, Mg, Zn, Cu, Fe: por absorción y el Na y K por emisión atómica.<sup>36</sup>

#### 5.5.2. Técnica colorimétrica

El P se cuantificó por medio colorimétrico con el molibdo-vanadato de amonio, siguiendo la técnica descrita por el AOAC.<sup>37</sup>

## 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis comenzó con la transformación de los datos a  $[Y=\ln(Y)]$  de acuerdo a las pruebas de distribución normal (Shapiro Wilk) y de homogeneidad de varianzas (Levene) incluidas en el programa estadístico JMP 8.2 (SAS Institute, Inc.). La comparación de las muestras de leche completa y de las porciones micelar e hidrosoluble obtenidas del grupo Testigo y Complementado se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas utilizando para ello el modelo Mixed incluido en el programa estadístico Prism 5.2 (Graph Pad, Inc.).

### 6.1 Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + Tx_i + \delta_{ij} + \rho_k + (\tau\rho)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde;

$Y_{ijk}$  = Concentración mineral en leche completa, porción micelar o soluble en el  $i$ -ésimo muestreo con el  $j$ -ésimo tratamiento, con la interacción del  $i$ -ésimo muestreo y  $j$ -ésimo tratamiento y el error experimental en el  $i$ -ésimo muestreo,  $j$ -ésimo tratamiento y  $k$ -ésima vaca.

$\mu$  = Media poblacional

$Tx_i$  = Efecto del tratamiento ( $i$  = testigo, complementadas)

$\delta_{ij}$  = Error asociado a las unidades experimentales

$\rho_k$  = Efecto del muestreo ( $k \square 1, 2, 3, 4, 5$ )

$(\tau\rho)_{ik}$  = Interacción tratamiento \* muestreo

$\varepsilon_{ijk}$  = Error asociado a dichos período

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Fósforo

En el Cuadro 11 se presentan las medias ajustadas ( $\pm$  EE) de P ( $\mu\text{gP/g}$ ) en leche completa de vaca y en sus porciones micelar e hidrosoluble. En la Figura 2 se presentan de forma gráfica los valores de P en leche completa y sus correspondientes porciones para el grupo de animales testigo (panel A) y el grupo complementado (panel B). En ambos casos los valores de P encontrados en leche completa y en la porción hidrosoluble se ubicaron entre 80-1000  $\mu\text{g/g}$ . Mientras que la cantidad de P en la porción micelar presentó valores entre 1000-7000  $\mu\text{g/g}$ . Como resultado de dicha observación cuando se obtuvo la proporción de P contenida en ambas porciones, se determinó que en ambos grupos la porción micelar contiene entre 89-92% del total de P de la leche.

La comparación de la cantidad de P de los grupos testigo contra complementado se presenta en la Figura 3. En la leche completa sólo durante el muestreo 4 se observaron diferencias significativas entre ambos grupos (Figura 3A;  $p < 0.001$ ). Además, durante el muestreo 2, se presentó un incremento de 4.3 y 7.2 veces con respecto a la concentración inicial de P para los grupos testigo y complementado, respectivamente. Efecto notoriamente visible en la leche completa cuando se le compara con las porciones micelar e hidrosoluble. Cabe mencionar que dicho aumento fue coincidente con el incremento de la disponibilidad de alimento provocado por la entrada de la temporada de lluvias.

Por otra parte, en la porción micelar del grupo complementado, se presentaron valores de P más altos durante el periodo de muestreo, aunque sólo significativamente diferentes para el muestreo 4 y 5 (Figura 3B;  $p < 0.05$ ). A diferencia de la porción hidrosoluble en la cual los valores de P fueron similares en ambos grupos (Figura 3C;  $p > 0.05$ ).

Adicionalmente, ambas porciones mostraron un incremento lineal en la concentración de P medido a lo largo del muestreo. No obstante, en el muestreo 4 se presentó una reducción significativa de la cantidad de P en la porción micelar del grupo testigo, efecto que no se observó en la fracción hidrosoluble.

Finalmente, en la Figura 4 se presentan de forma descriptiva los resultados de la concentración de P separada por tercios de lactación para los grupos evaluados. En leche completa se observó que la concentración de P se comporta de manera similar en ambos grupos de vacas a lo largo de la lactación. Además de forma consistente con los resultados previos, durante el muestreo 4 se redujo considerablemente la cantidad de P en el grupo testigo, a diferencia de la leche de vacas suplementadas (Figura 4A). Con respecto a la porción micelar, las vacas en primer tercio de lactación presentaron concentraciones elevadas de P en el grupo complementado, mientras que las vacas de los demás tercios presentaron un patrón similar de la concentración de P entre los grupos. Excepto para el muestreo 4 en el cual el efecto de la reducción de los valores del mineral al parecer se contrarresta por efecto de la complementación (Figura. 4B). Por último, en la fracción hidrosoluble la cantidad de P al parecer no se afecta por el tercio de lactación en ninguno de los grupos evaluados (Figura 4C).

## 7.2 Sodio

En el Cuadro 12 se presentan las medias ajustadas ( $\pm$  EE) de Na ( $\mu\text{gNa/g}$ ) en leche completa de vaca y en sus porciones micelar e hidrosoluble. En la Figura 5 se presentan de forma gráfica los valores de Na en leche completa y sus correspondientes porciones para el grupo de animales testigo (panel A) y el grupo complementado (panel B). Los valores de Na encontrados en la porción micelar se encontraron entre 300-800  $\mu\text{g/g}$ , y en leche completa entre 600-2000  $\mu\text{g/g}$ . Mientras que la cantidad de Na en la porción hidrosoluble presentó valores entre 1000-5000  $\mu\text{g/g}$ . Como resultado de dicha observación cuando se obtuvo la

proporción de Na contenida en ambas porciones, se determinó que en ambos grupos la porción hidrosoluble contiene entre 89-96% del total de Na de la leche.

La comparación de la cantidad de Na de los grupos testigo contra complementado se presenta en la Figura 6. En la leche completa sólo durante el muestreo 4 se observaron diferencias significativas entre ambos grupos (Figura 6A;  $p < 0.05$ ). Además, durante el muestreo 2 se presentó un descenso de la concentración inicial de Na para los grupos testigo y complementado, respectivamente. Este efecto es notoriamente visible en la leche completa cuando se le compara con las porciones micelar e hidrosoluble, siendo importante resaltar que esta última porción presenta una tendencia marcada al incremento a lo largo de los muestreos.

Por otra parte, a pesar de que solo en leche completa específicamente en el muestreo 4 se presentaron diferencias significativas (Figura 6A;  $p < 0.05$ ), fue en la porción hidrosoluble tanto del grupo testigo como del complementado donde se presentaron los valores de Na más altos, principalmente durante el periodo de muestreo 3 (Figura 6C).

### 7.3 Calcio

En el Cuadro 13 se presentan las medias ajustadas ( $\pm$  EE) de Ca ( $\mu\text{gCa/g}$ ) en leche completa de vaca y en sus porciones micelar e hidrosoluble. En la Figura 7 se presentan de forma gráfica los valores de Ca en la leche completa y sus correspondientes porciones para el grupo de animales testigo (panel A) y el grupo complementado (panel B). Los valores de Ca encontrados en leche completa se ubicaron entre 200-1000  $\mu\text{g/g}$ , mientras que en la porción micelar se encontraron valores entre 700-1200  $\mu\text{g/g}$  y en la hidrosoluble entre 0-60  $\mu\text{g/g}$ . De dichas observaciones al obtener el Ca total y la proporción correspondiente a cada porción, se determinó que en ambos grupos experimentales la porción micelar contiene 99% del total de Ca de la leche.

La comparación de la cantidad de Ca de los grupos testigo contra el complementado se presenta en la Figura 8. En la leche completa sólo durante el muestreo 4 se observaron diferencias significativas entre ambos grupos (Figura 8A;  $p < 0.001$ ). Muestreo en el que se presentó un incremento del Ca de 2.1 veces en el grupo testigo en comparación al complementado, tal efecto disminuye en el muestreo 5 hasta igualarse a la concentración del grupo complementado.

Por otra parte, la porción micelar del grupo complementado presentó valores similares al testigo, excepto en el muestreo 4, siendo este el único periodo de muestreo significativamente diferente (Figura 8B;  $p < 0.05$ ). Mientras que en la porción hidrosoluble se presentaron valores de Ca similares entre grupos y sólo significativamente diferentes para el muestreo 5 (Figura 8C;  $p < 0.05$ ).

Adicionalmente, ambas porciones mostraron un incremento lineal en la concentración de Ca medido a lo largo de los muestreos, siendo más evidente este en la porción hidrosoluble, aunque a menor escala. No obstante, en el muestreo 4 de la porción micelar, se presentó una disminución significativa de la cantidad de Ca del grupo complementado de 3.4 veces en relación al grupo testigo, enmascarándose el incremento de Ca que se observa a partir del muestreo 2 del grupo complementado. Efecto que no se observó en la fracción hidrosoluble.

Finalmente, en la Figura 9 se presentan de forma descriptiva los resultados de la concentración de Ca separada por tercio de lactación para los grupos experimentales. En leche completa se observó que la concentración de Ca se comporta de manera similar en ambos grupos de vacas. Con respecto a la porción micelar, de forma consistente con los resultados previos, durante el muestreo 4 se redujo considerablemente la cantidad de Ca en el grupo complementado, a diferencia de la leche de vacas testigo (Figura 9A). Además, son las vacas en segundo tercio de lactación las que presentaron concentraciones más elevadas de Ca, mientras que los valores más altos se presentaron en el muestreo 2 y 3. Esto

se hace más evidente por la disminución de Ca en el muestreo 4, previamente mencionado. Efecto que se observa de igual manera en las vacas de los demás tercios de lactación. (Figura 9B). Por último, en la fracción hidrosoluble la cantidad de Ca, no se ve afectada por el tercio de lactación en ninguno de los grupos evaluados. Mientras en los tres casos se observa cierta tendencia que va en aumento durante los períodos de muestreo (Figura 9C).

#### 7.4 Hierro

En el Cuadro 14 se presentan las medias ajustadas ( $\pm$  EE) de Fe ( $\mu\text{gFe/g}$ ) en leche completa de vaca y en sus porciones micelar e hidrosoluble. En la Figura 10 se presentan de forma gráfica los valores de Fe en leche completa y en sus diferentes porciones, para el grupo de animales testigo (panel A) y el grupo complementado (panel B). Los valores de Fe encontrados en leche completa se ubicaron entre 0-15  $\mu\text{g/g}$ . Mientras que la cantidad de Fe en la porción micelar presentó valores entre 100-400  $\mu\text{g/g}$ . Es importante señalar que en la porción hidrosoluble, no se detectaron valores de Fe por encima de 0.01  $\mu\text{g/g}$ , por lo que el Fe micelar fue considerado como el Fe total.

La comparación de la cantidad de Fe de los grupos testigo contra complementado se presenta en la Figura 11. En leche completa durante el muestreo 1 y 4, se observaron diferencias significativas entre ambos grupos (Figura 11A;  $p < 0.05$ ). Durante el muestreo 2 se presentó una disminución de 2.5 y 2.7 veces con respecto a la concentración inicial de Fe para los grupos testigo y complementado, respectivamente. Además en el muestreo 4 se observó un aumento de los valores de Fe de grupo testigo de 2.5 veces el grupo complementado. Cabe mencionar que este efecto conserva la misma proporción que el observado en el muestreo 2, el cual no se aprecia tan marcado probablemente debido al primer descenso de los valores de Fe.

Por otra parte, en la porción micelar los valores de Fe de ambos grupos experimentales fueron similares, (Figura 11B;  $p>0.05$ ), en donde se presentó un incremento marcado en el muestreo 3 así como una caída precipitada de los valores de Fe para el muestreo 4 .

## 7.5 Potasio

En el Cuadro 15 se presentan las medias ajustadas ( $\pm$  EE) de K ( $\mu\text{gK/g}$ ) en leche completa de vaca y en las porciones micelar e hidrosoluble. En la Figura 12 se presentan de forma gráfica los valores de K en leche completa y en sus correspondientes porciones para el grupo de animales testigo (panel A) y el grupo complementado (panel B). En ambos casos los valores promedio de K encontrados en la leche completa se ubicaron entre 750-2500  $\mu\text{g/g}$ , en la porción micelar entre 250-700  $\mu\text{g/g}$ . Mientras que la cantidad de K en la porción hidrosoluble presentó valores entre 1500-17000  $\mu\text{g/g}$ . Al obtener la proporción de K contenida en ambas porciones, se determinó que en ambos grupos la porción hidrosoluble contiene entre 89.8-90.2% del total de K de la leche.

La comparación de la cantidad de K del grupos testigo vs. complementado se presenta en la Figura 13. En leche completa sólo durante los muestreos 2 y 4 se observaron diferencias significativas entre grupos (Figura 13A;  $p<0.001$ ). Además, durante el muestreo 2 se presentó un incremento de 1.8 veces con respecto a la concentración inicial de K para los grupos testigo y complementado.

Por otra parte, en la porción micelar del grupo complementado se presentó un aumento gradual en los valores de K durante el periodo de muestreo, llegando a superar los valores del grupo testigo, aunque sólo significativamente diferentes para el muestreo 4 (Figura 3B;  $p<0.05$ ). A diferencia del grupo testigo, que a pesar de tener valores de K más altos al inicio de los muestreos, estos van disminuyendo gradualmente.

Mientras que la porción hidrosoluble los valores de K fueron similares en ambos grupos (Figura 13C;  $p>0.05$ ). A pesar de iniciar con valores muy bajos estos aumentan rápidamente con una tendencia lineal a lo largo de los muestreos.

## 7.6 Magnesio

En el Cuadro 16 se presentan las medias ajustadas ( $\pm$  EE) de Mg ( $\mu\text{gMg/g}$ ) en leche completa de vaca y en sus porciones micelar e hidrosoluble. En la Figura 14 se presentan de forma gráfica los valores de Mg en la leche completa y sus correspondientes porciones para el grupo de animales testigo (panel A) y el grupo complementado (panel B). En ambos casos para leche completa y su porción hidrosoluble los valores promedio de Mg encontrados se ubicaron entre 40-170  $\mu\text{g/g}$ . Mientras que la cantidad de Mg en la porción micelar presentó valores entre 150-500  $\mu\text{g/g}$ . Como resultado de dicha observación cuando se obtuvo la proporción de Mg contenida en ambas porciones, se determinó que en ambos grupos la porción micelar contiene entre 79-83% del total de Mg de la leche.

La comparación de la cantidad de Mg de los grupos testigo y complementado se presenta en la Figura 15. En leche completa sólo durante el muestreo 4 se observaron diferencias significativas entre grupos (Figura 15A;  $p<0.001$ ). Se observó durante el período de muestreo al grupo complementado con una tendencia a incrementar sus valores promedio por encima del testigo. Efecto que es visible al compararse la leche completa con las porciones micelar e hidrosolubles y que se pierde en el muestreo 4 donde la concentración de Mg disminuye en ambas porciones. Cabe mencionar que dicha disminución es coincidente con la disminución de los valores promedio de prácticamente todos minerales mencionados anteriormente en este capítulo, siendo más evidente en la porción micelar.

Por otra parte, en la porción micelar del grupo complementado se presentaron valores de Mg más altos durante el periodo de muestreo, aunque sólo

significativamente diferentes para el muestreo 1, 5 y 2 (Figura 15B;  $p < 0.05$ ;  $p < 0.001$ ), respectivamente. Mientras que en la porción hidrosoluble los valores promedio de Mg en el grupo complementado fueron mayores y significativamente diferentes en los muestreos 4 y 5 (Figura 15C;  $p > 0.05$ ).

En el cuadro 18 se presenta la distribución en porcentaje de los minerales en leche de vaca obtenidos en este estudio.

## 8. DISCUSIÓN

Los macrominerales se distribuyen de manera diferente entre las porciones hidrosoluble y micelar o fase coloidal de la leche (principalmente en micelas de caseína). El K y el Na son los iones esencialmente difusibles o hidrosolubles y a pesar de que el Ca, P y Mg también forman parte de estos iones, se encuentran en mayor parte ligados a las micelas de caseína.<sup>14</sup>

En leche de vaca sana, el 65% del calcio, el 60% del magnesio y el 50% del fósforo se encuentran asociados a las caseínas (en forma coloidal). La leche contiene además oligoelementos (zinc, silicio, aluminio, hierro, etc.) cuyas variaciones están asociadas a cambios de alimentación y a aportes externos (contaminación atmosférica, material de ordeño).<sup>10,14</sup> Los glóbulos de grasa emulsionados contienen un 1% de fosfolípidos y en sus membranas se fijan Fe, Cu, Zn y Mn. Más de la mitad del Fe y alrededor del 80% del Zn y Cu se fijan a micelas de caseína.<sup>16</sup>

Alrededor de un tercio del calcio, la mitad del fosfato inorgánico, dos terceras partes de magnesio y más del 90% de citrato se encuentran disueltos en la porción hidrosoluble de la leche. Las lactoalbúminas contienen un átomo de Ca por molécula. Además una pequeña proporción de calcio también está ligado a lactoalbúmina (se menciona que hay un átomo de calcio por proteína). Mientras que, los micro minerales se unen en importantes cantidades a las micelas de caseína y en menor cantidad a los glóbulos de grasa y lactosa. Entre el 15 al 30% del Fe, Zn y Cu se unen a las proteínas solubles.<sup>10,14</sup>

La distribución mineral entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche descrita por Mekmene (2009) se presenta en el Cuadro 18,<sup>38</sup> cálculos que difieren con la distribución de los valores de elementos minerales notificados en el presente estudio. De hecho, se acepta en general que en leche completa, se encuentran entre 801.6 µg/g de calcio y 1202 µg/g de fósforo. Cerca de 310 µg/g de cada ion se encuentran en la porción micelar y de 309 µg/g a 619 µg/g en la porción hidrosoluble. Cabe mencionar que las diferencias entre los valores

obtenidos y los informados por otros autores puede deberse a la presencia de sales mixtas (asociación entre iones), probablemente existentes en la leche pero no consideradas en los cálculos ya que como se ha mencionado anteriormente la mayoría de los EM se encuentran como fosfatos, citratos, sulfatos, carbonatos entre otros.<sup>12,38</sup>

## 8.1 Fósforo

Los valores de P identificados en leche completa por ciertos autores van de 647 a 950  $\mu\text{g/g}$ .<sup>14, 38, 39, 40</sup> Mientras que en Chile en el 2005, en un estudio sobre la calidad proteica y mineral de la leche de vaca, el contenido promedio de fósforo durante cuatro muestreos fue de  $1000 \pm 140 \mu\text{g/g}$ .<sup>39</sup> Estos valores se encuentran por encima de los obtenidos en el presente estudio, cuyos valores promediaron;  $414.20 \pm 28.06 \mu\text{g/g}$  en el grupo testigo y de  $497.05 \pm 37.72 \mu\text{g/g}$  en el complementado.

La concentración promedio de fósforo en la porción micelar obtenida en el presente estudio, difiere a las notificadas por Gaucher (2007) ya que este refiere como fósforo micelar al 52% y fósforo soluble al 48% mientras que los resultados obtenidos del P micelar, corresponde al 89.7% para el grupo testigo y 92.2% para el complementado, y para la porción hidrosoluble el 10.3% y 7.8%, respectivamente; valores que se encuentran dentro de los valores descritos.<sup>40</sup> Para ambos casos, la porción micelar es la que concentra mayor cantidad de P. Siendo aún más notorio en el grupo complementado. Por lo que se puede decir que es en esta porción, donde se encontró una respuesta de asociación entre la complementación y el incremento de fósforo. Por consiguiente, se puede considerar a esta fracción como la representativa para evaluar la respuesta de la complementación y el incremento de fósforo en la leche. A pesar de la caída de los valores de P en el muestreo 4, la porción micelar mostró un comportamiento ascendente. Cabe mencionar que dicho aumento, fue coincidente con el incremento de la disponibilidad de alimento, provocado por la entrada de la

temporada de lluvias. Evento que también podría explicar la disminución de dichos valores en el muestreo 4, ya que el incremento en las lluvias previo a este muestreo, pudo causar una disminución del consumo de alimento de los animales, modificando con ello, la cantidad de leche producida pero aún más una disminución en la cantidad de proteína en la leche. (Cuadro 19)

La concentración de P de la leche puede estar influenciada por factores tales como la época del año, la alimentación, la raza y el tercio de lactación, al igual que el contenido de proteínas en sus distintas formas presentes en la leche.<sup>41</sup> Por lo que las diferencias en los valores encontrados en este estudio, con los observados, pueden deberse a muchos factores que producen cierta variación en la concentración de fósforo en la leche y en sus respectivas porciones.

Pérez *et al* (2003), obtuvieron valores promedio de fósforo correspondientes a; otoño y verano, de  $930 \pm 17$  y  $890 \pm 50$   $\mu\text{g/g}$ , respectivamente;<sup>42</sup> valores que se encuentran por encima de los encontrados en esta investigación. Mientras que según West (2003) refiere que el contenido de fósforo en la leche es más elevado en primavera que en otoño y verano.<sup>43</sup> Cabe mencionar que este experimento se llevó a cabo durante el verano, período en el cual la disponibilidad inicial de forraje era limitada mejorando esta situación para los últimos muestreos. Esto puede deberse a que el contenido de fósforo es más bajo debido a dos hechos: 1) por un efecto de concentración debido a una baja producción de leche, y 2) por menor contenido de proteína, debido a que en estas épocas disminuye el forraje y la fibra en la alimentación. Lo cual también podría influir la caída en la concentración de fósforo en el muestreo 4. Looper *et al.* (2001) señalan que el contenido de proteína en la leche, es mayor en otoño e invierno y más bajo en primavera y verano, debido a que en estas épocas disminuye el forraje y la fibra en la alimentación.<sup>25</sup> Agudelo y Bedoya (2004) informan que durante el inicio de la época de lactancia desciende el contenido de P, para al final volver a aumentar ligeramente, efecto que se describirá con más detalle más adelante.<sup>10</sup>

No sólo el contenido total de proteína es el que interviene en la concentración de fósforo en la leche. Existen estudios que mencionan, que altos contenidos de minerales como el calcio y fósforo, están relacionados con altos contenidos de proteínas de la leche, especialmente caseínas, siendo leches con la presencia de la variante B de  $\kappa$ -caseína las que presenten un mayor contenido de fósforo y calcio.<sup>44,45</sup> Patil *et al.* (2003) refieren que la concentración de fósforo varía entre las distintas variantes genéticas de caseína; siendo las AB y BB de  $\kappa$ -caseína, las que tienen altos contenidos de fósforo, por lo que nuestros resultados pueden estar influenciados de acuerdo al tipo de caseína presente en la leche.<sup>46</sup> Esto puede tomarse en cuenta para la realización de futuros estudios.

Resulta interesante mencionar que durante el periodo de obtención del muestreo 4 se registraron lluvias fuertes y constantes, las cuales probablemente afectaron el consumo de alimento en ambos grupos, modificando con ello las concentraciones de los minerales evaluados. Respuesta muy evidente en las vacas del grupo testigo, en las cuales los valores de P durante el muestreo 4 fueron similares ( $p>0.05$ ) a los obtenidos al inicio del experimento. En este sentido, la complementación mineral resultó efectiva para soportar la disminución del aporte de la fuente principal de P; el alimento, ya que en el grupo complementado solo se redujo en un 27% la concentración de P al muestreo 4, mientras que el grupo testigo se presentó una reducción del 55% con respecto al muestreo 3.

En conjunto los resultados anteriores sugieren que en la porción micelar se presentó una respuesta de asociación entre la complementación y el incremento de los valores de P medidos en ambos grupos, resaltando con ello el efecto de la complementación mineral en las concentraciones de P en la leche. Es por ello que se debe considerar a la fracción micelar como la porción representativa para evaluar la respuesta de la complementación.

## 8.2 Calcio

La concentración de calcio en leche completa según Closa (2003) va de 114 a 149  $\mu\text{g/g}$ , estos valores difieren de los encontrados en el presente estudio los cuales van de 234 a 744  $\mu\text{g/g}$ ;<sup>15</sup> diferencias que pueden deberse a factores como raza, tercio de lactación, época del año, clima, cantidad de leche producida. Además, mientras que en la porción hidrosoluble se encontraron concentraciones entre 200-800  $\mu\text{g/g}$  de muestra, en la porción micelar se obtuvieron valores mínimas de 2000  $\mu\text{g/g}$  de muestra. Esto nos indica que la cantidad de calcio en la porción micelar es 10 veces más que en la porción hidrosoluble, posiblemente formando caseinato de calcio en la porción micelar, y como citrato en la porción hidrosoluble.

A pesar que se considera que la composición mineral de la leche permanece constante, se pueden observar variaciones en algunos casos. Un estudio sobre las fracciones de la leche de vaca, menciona que el contenido de calcio es mayor en leche rica en proteína.<sup>47</sup> Esto explica la razón por la que la concentración de calcio es mayor en la porción micelar tanto para los grupos testigo como el complementado, ya que este es un mineral que se fija principalmente a la caseína, la proteína de la leche.<sup>5,10</sup> La caseína se encuentra en suspensión formando micelas, las cuales contienen aproximadamente el 68% del Ca, unido a su estructura y sales compuestas de fosfato de calcio coloidal, citratos en proporciones fijas que contribuyen a estabilizar las micelas.<sup>48</sup> El dato anterior resulta útil al tratar de explicar la caída generalizada que presentaron los minerales micelares, ya que al caer el calcio durante el muestreo 4 es posible que las micelas se desestabilizan rompiéndose y liberando los demás minerales que se encontraran fijados en ellas. Esto igualmente está relacionado a la disminución en el consumo de alimento por los animales, debido a condiciones de estrés, como lo fue la lluvia constante.

Las diferencias en el contenido de Ca entre muestreos podrían ser explicadas por la etapa de lactación, así como número de parto, etc. (Cuadro 8) Los cambios más importantes en la composición se producen en torno al parto,

por lo que la concentración del calcio es mucho mayor en el calostro a la de la leche normal y cerca del final de la lactancia.<sup>24,48</sup> Por lo tanto, las diferencias en el contenido de Ca encontradas en este estudio bien podrían ser justificadas por este efecto, ya que dentro de cada grupo había animales de primero, segundo y tercer tercio. Coulon *et al.* (1998), describen que a medida que aumentan los días de lactación aumenta el contenido de calcio; este autor encontró diferencias significativas en el contenido de calcio en leche de vacas entre 236 y 298 días de lactación, obteniendo mayor contenido de calcio a los 298 días.<sup>41</sup> En tanto que Ostersen *et al.* (1997), también encontraron diferencias del contenido de calcio a los 35 días de lactación de 11,100 y 13,200  $\mu\text{g/g}$  a los 167 y los 323 días de lactación, respectivamente.<sup>48</sup> Estos resultados son similares a los obtenidos para la porción micelar, ya que durante el segundo tercio de lactación se obtuvieron valores máximos de 11,940  $\mu\text{g/g}$  y para el tercer tercio valores de 9,000  $\mu\text{g/g}$ , cabe señalar que es posible que estas concentraciones pudieran haber sido mayores para cada tercio, pero al existir en el muestro 4 una caída pronunciada de los valores asociada a una disminución en el consumo de forraje, estos valores no alcanzan a recuperar sus valores para poder observar un efecto de la complementación.

Es interesante mencionar que anterior al muestreo 4 se registraron lluvias fuertes y constantes, las cuales afectaron el consumo de alimento en ambos grupos, por lo tanto modificando con ello las concentraciones de los minerales evaluados. Gutiérrez (2005), mencionan que el equilibrio mineral en la leche es fuertemente influenciado por la complementación de sales, concluyendo que la complementación de Ca en de 25 mmol/kg de leche es el factor más importante para afectar la composición micelar.<sup>49</sup> La idea anterior, respalda los resultados de esta investigación donde se observó que esta porción es donde se encontró una respuesta de asociación entre la complementación y el incremento de Ca en la leche, por lo consiguiente se considera esta fracción como la representativa para evaluar la respuesta de la complementación y el incremento de Ca en la leche.

### 8.3 Sodio

La concentración normal de sodio en leche completa va de 520 a 620  $\mu\text{g/g}$ , estos valores quedan dentro de los valores obtenidos en este estudio (577 a 1823  $\mu\text{g/g}$  en el grupo testigo y 583 a 2441  $\mu\text{g/g}$  en el complementado), incluso se encontraron valores muy por encima de los reportados, lo que puede depender del tipo genético del animal, condiciones climáticas relacionado, producción de leche incluso a propio manejo del mismo.<sup>23,50</sup> En lo que se refiere a la distribución entre las porciones micelar e hidrosoluble de acuerdo a la fase, se observa que los animales complementados presentan una curva de concentración mineral más suave mientras que los animales testigo presentan una tendencia más inconstante con picos de concentración muy marcados. Esto posiblemente debido a efectos compensatorios del propio organismo de los animales, para mantener sus valores normales y a efectos de estrés causados a condiciones climáticas adversas.<sup>20</sup>

Mekmene (2008) menciona que el sodio hidrosoluble corresponde al total de este mineral en la leche. Esto difiere con nuestros resultados, diferencias que pueden ser debidas al método de preparación de las muestras por la presencia de sale mixtas.<sup>38</sup> Contrario a esto se encontró que en el primero, segundo y quinto muestreos muestreo la relación de las concentraciones es similar y en cantidades entre 30 y 40  $\mu\text{g/g}$

Se reporta que la concentración de sodio en leche de vaca, menos del 1% se encuentra en la fase micelar, mientras que se ha demostrado que estos valores se encuentran por encima del 5%.<sup>50</sup>

Es de suma importancia considerar cuál es la porción de la leche que se desea evaluar para asociarlo con la concentración en el alimento, ya que mientras en la leche completa se observa un decremento durante el tiempo de muestreo y en la hidrosoluble un incremento. Esto quiere decir que si no se elige la porción adecuada se podrán caer en errores drásticos.

#### 8.4 Potasio

La concentración de K reportada por algunos autores va de 1090-1681  $\mu\text{g/g}$  valores similares a los encontrados en este estudio.<sup>31,50</sup> En lo que se refiere a la porción micelar e hidrosoluble, Gaucherón (2005) menciona que el K total corresponde al K hidrosoluble, esto difiere de nuestros resultados donde el K hidrosoluble corresponde al 90%, tanto para el grupo testigo como para el complementado.<sup>14</sup> Por otro lado, se menciona que menos del 1% del K se encuentra en la fase micelar, mientras que en el presente estudio se registró, que estos valores se encuentran por encima del 5%.<sup>49</sup> Estas diferencias, una vez más pueden estar explicadas gracias a la presencia de sales mixtas presentes en las muestras correspondientes a la porción micelar.<sup>38</sup>

Aunque se menciona también que el K es de los minerales que menor modificación sufre en la leche,<sup>39</sup> dichas diferencias pueden deberse a factores como raza, individualidad de la vaca, estado de lactancia, alimentación, estación del año,<sup>12</sup> Por lo que la diferencia en la permeabilidad del tejido epitelial mamario, relacionado a la etapa de lactación en la que se pueda encontrar cada vaca, puede estar explicando las diferentes concentraciones encontradas en la porción hidrosoluble.

#### 8.5 Hierro

En leche completa se han encontrado valores de Fe de 420-700  $\mu\text{g/g}$ , valores que difieren con los valores del presente estudio.<sup>50,51</sup>

El Fe en la leche de vaca, es un mineral unido a proteínas, el cual se encuentra en concentraciones muy bajas. Se menciona que más de la mitad del Fe se fija a las micelas de caseína y entre el 15-30% se une a proteínas solubles<sup>15</sup>. Esta proporción difiere de los resultados obtenidos ya que el Fe micelar

corresponde en este estudio al Fe total, debido a que en la porción hidrosoluble no se obtuvo lectura, al no encontrarse concentraciones mayores a 0.2 µg/ml. Por otro lado la mayor concentración de Fe se encontró en la porción micelar, lo cual confirma que el Fe es un mineral en su mayoría micelar. El que no se haya registrado lectura de este mineral en la porción hidrosoluble, podría explicarse en parte, a que las muestras fueron previamente descremadas. Se menciona que el Fe, así como otros micro minerales se fijan a los fosfolípidos que se encuentran en los glóbulos de grasa emulsionados.<sup>16</sup>

Por otro lado, las bajas concentraciones de Fe encontradas en leche completa, concuerdan con los valores reportados los cuales van de 20-60 µg /100ml,<sup>1</sup> 100 µg /100 ml.<sup>52</sup> A pesar de las bajas concentraciones, de este nivel bajo pasa a tener un aspecto positivo debió a que limita el crecimiento bacteriano, debido a que el hierro es esencial para el crecimiento bacteriano.<sup>51</sup>

## 8.6 Magnesio

Los valores normales de Mg reportados en leche completa van de 96-146 µg/g, valores que concuerdan con los encontrados en este estudio.<sup>14,50</sup>

Por otro lado en la porción micelar según Gaucherón (2005) corresponde al 35% del total del Mg en la leche, sin embargo los resultados de este estudio los valores corresponden al 79 % y al 83% para el grupo testigo y complementado, respectivamente.<sup>14</sup> Resultados que se asemejan a los de otros autores, los cuales mencionan que las micelas de caseína, contienen aproximadamente el 68% del Mg en proporciones fijas que contribuyen a estabilizar las micelas.<sup>38</sup>

Estos resultados puede diferir debido al contenido de proteína presente en la leche de cada experimento, y a la raza en particular. Debido a que el ganado Holstein tiene menor cantidad de sólidos totales que el ganado cebú y sus cruza.<sup>39</sup>

Por otro lado, se ha indicado que la secreción de Mg en leche son pérdidas las cuales provocan mermas en los escasos depósitos corporales.<sup>53</sup> Las

concentraciones de este mineral en la leche son constantes en cada animal con valores de 9 a 16 mg/dl registrándose pérdidas de hasta 3 g por día en vacas de alta producción, lo que podría estar dando las diferencias en la concentración de Mg entre autores.<sup>54</sup>

Además, a pesar de que el Mg es un mineral el cual obtienen los animales principalmente de los alimentos, es importante tomarlo en cuenta en la complementación ya que en situaciones de estrés, como por ejemplo el calor, se ha reportado que puede haber bajas significativas en los niveles de Mg.<sup>38</sup>

### 8.7 Cobre

Las concentraciones de cobre no se detectaron a más de 0.2 ug/g para la leche completa y la porción micelar, ug/ml para la porción hidrosoluble, algunos autores reportan concentración de cobre en leche completa de entre 6-30 ug/100ml.<sup>52,55</sup> Siendo este un mineral unido principalmente a las micelas de caseína y en parte a los glóbulos de grasa emulsionados.<sup>14,16</sup> Cabe recordar que parte del proceso de preparación de las muestras de leche fue el descremado porque, esto puede haber sido un factor para no detectar concentraciones mínimas del minerales además de las bajas concentraciones en que normalmente se encuentra.<sup>1</sup>

### 8.8 Zinc

Algunos valores de zinc reportados en leche completa van de 300-500 ug/ml,<sup>51,52</sup> mientras que Mekmene et al. (2009) reportan que el 80% el total de zinc se fija en las micelas de caseína y del 15 al 30% a proteínas solubles.<sup>38</sup> En este estudio no se encontraron concentraciones por arriba del límite de detección del equipo, lo cual no significa su ausencia en la leche.

## 8.9 Factores que modifican la calidad mineral de la leche.

Un dato relevante a tomar en cuenta es que en el inicio del estudio coincidió con el final de la época de sequía y con el inicio de la época de lluvias, esto puede explicar el incremento lineal y paralelo que se observa para todos los minerales, lo cual coincide con un aumento en el consumo de forraje debido a una mayor disponibilidad del mismo. También es importante señalar que el grupo suplementado se encuentra por encima del testigo y que dicho incremento se ve afectado de manera importante por un descenso de la concentración mineral en el muestreo 4, lo cual puede estar enmascarando los resultados, ya que en los animales no alcanzan a recuperar dicha tendencia al menos durante el período de estudio. Lo anterior se pudiera atribuir al efecto de factores externos como las condiciones climáticas, ya que precisamente antes de este muestreo es que se presentó lluvia intensa, que ocasionó una disminución en el consumo de los animales. Sin embargo, también es notorio que los animales pertenecientes al grupo suplementado fueron capaces de amortiguar el efecto de estas condiciones, conservando una calidad mineral superior a la del grupo testigo.

Según Hernández (2005) los principales factores que afectan la composición y las propiedades de la leche son factores intrínsecos (genéticos, raza, etapa de lactancia, edad de la vaca) y factores extrínsecos (alimentación, clima y factores ambientales como la estación del año).<sup>27</sup> Siendo la raza el factor que produce una amplia variabilidad en la composición de la leche. Incluso Fox y McSweeney (1998) señalan que aún entre individuos de una misma raza, se produce variación de la composición de proteína en leche.<sup>12</sup> Es sabido que la alimentación es un factor que influye sobre la composición proteica de la leche. En un estudio realizado por Petit *et al.* (2004) determinaron que existen diferencias en el contenido proteico al alimentar vacas, con distintas dietas. La frecuencia de ordeño también influye sobre la composición proteica. Un estudio realizado por O'Brien *et al.* (2002) mostraron que la reducción de la ordeña de dos veces al día

a una por día, presentó un aumento 0.29% de proteínas y que aumentó el contenido de proteínas del suero.<sup>19</sup>

Esto es de importancia ya que algunos autores refieren que el P, Ca y los minerales traza (Fe, Cu y Zn) se encuentran en mayor proporción asociados a las micelas de proteína de la leche. Por lo que los factores antes mencionados se encuentran modificando indirectamente la cantidad de estos minerales en la leche, lo que explica demás las diferencias en los valores obtenidos y los reportados por otros autores.

La concentración de las proteínas cambia significativamente durante la lactancia, especialmente durante los primeros días después del parto.<sup>12</sup> Gutiérrez (2005) muestra que el contenido de proteínas después de 5 semanas llega a su nivel más bajo y a medida que las semanas de lactancia avanza este contenido aumenta.<sup>39</sup> Más específicamente Oestersen *et al.* (1997) señalan que el contenido de caseínas llega al mínimo en la primera semana luego sufre un aumento llegando a la semana 18 (lo que correspondería a el segundo tercio de lactación) donde alcanza su mayor contenido, luego el contenido desciende levemente para mantenerse casi constante.<sup>55</sup> De manera inversa, las proteínas del suero alcanzan su contenido más alto en la primer semana (primer tercio) para luego en la semana 18 (segundo tercio) llegar a su contenido más bajo y posteriormente aumentar de manera gradual. Esto es similar con los resultados obtenidos para Ca.

La estacionalidad es otro factor que puede modificar el contenido de proteína en la leche. Hermasen *et al.* (2000) observan que en la mitad del verano cuando las vacas son alimentadas principalmente por pasto, la leche tiene un contenido de caseína inferior,<sup>56</sup> lo cual nos podría sugerir que al realizar mediciones de P, Ca, u y Zn en leche de vacas adecuadamente suplementadas durante primavera, obtendríamos cantidades mucho mayores a las encontradas, por lo que sería una leche de excelente calidad mineral.

## 9. CONCLUSIONES

Se observó que la medición de EM en leche completa no es la que refleja la respuesta de la complementación mineral a través del alimento. Ya que la distribución de los EM en su respectiva porción, se da de acuerdo a las características físico químicas de cada mineral. Por ejemplo el Ca, P y Mg tienden a formar caseinatos, así como el Zn y Cu, por lo que la respuesta se observa en la porción micelar. En cambio el sodio y potasio al ser hidrosolubles la respuesta se identificara en la porción hidrosoluble.

En su conjunto, los resultados anteriores sugieren que en la porción micelar se presentó una respuesta entre la complementación y el incremento de los valores de P medidos, resaltando con ello el efecto de la complementación. Mientras que para Ca, Mg y Fe se presentaron concentraciones mucho mayores en la porción micelar.

No se observó una respuesta entre la complementación mineral y el incremento de los valores de Na y K. Sin embargo, la porción más representativa para su medición fue la porción hidrosolubles de la leche.

Es por ello que se debe considerar a la fracción micelar como la porción representativa para evaluar la respuesta de la complementación. Este efecto se reflejó en la leche a los 15 días.

Es importante tomar en cuenta que la concentración de los EM en la leche está influenciada por gran cantidad de factores tales como el tercio de lactación, donde la respuesta de incremento del calcio se observó en el segundo tercio. En cuanto a el P la respuesta en la porción micelar se observó desde el primer tercio se mantuvo para el segundo y tercer tercio. Sin embargo es necesario considerar que existen otros factores tales como raza, época del año y cantidad y tipo de proteína presentes en la leche. Por lo que se recomienda realizar más estudios considerando estos factores.

## 10. Referencias

1. UNDERWOOD EJ. Trace elements in human and animal nutrition. 4<sup>a</sup> ed. E.U: Academic Press, 2000: 2-47, 429-459.
2. BERNABUCCI U, LACETERA N, RONCHI B, NARDONE A. Effects of the hot season on milk protein fractions in Holstein cows. Anim Res 2002; 51 (1): 25-33.
3. MCDOWELL R, ARTHINGTON J. Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium Gainesville, FL 2005; 38: 101-112.
4. HOMAN EJ, WATIAUX M. Guía Técnica Lechera. Universidad de Wisconsin 2002: 38-53.
5. WATIAUX M. Composición de la leche y valor nutricional. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin Madison 2003: 4-21.
6. GONZÁLEZ Y. 2004. Evaluación de la calidad microbiológica y de composición de la leche en la provincia de Sancti Spíritus. [Tesis de Diploma] Sancti Spíritus: Centro Universitario Sancti Spíritus.
7. NORMA OFICIAL MEXICANA, “Bienes y Servicios. Helados de crema, de leche o grasa vegetal, sorbetes y bases o mezclas para helados. especificaciones sanitarias”. NOM-036-SSA1-1993.
8. SASTRE A. La leche y los lácteos. [web en línea] 2003 [citado 30 mayo 2009]; URL disponible en: <http://www.geocities.com/tenisoat/leche.htm>.
9. CAPRA. La composición de la leche de cabra y su papel en la alimentación humana [en línea] 2004. [citado 16 noviembre 2010]. URL disponible en: <http://www.iespana.es/capra/hombre/hombre.htm>
10. AGUDELO G, DIVIER A, OSWALDO B. Composición nutricional. de la leche de ganado vacuno. Revista Lasallista de Investigación 2005; 2-10.
11. ALAIS CH. La Ciencia de la leche. 4<sup>a</sup> ed. España: Reverté SA, 2003: 5-21, 31-239, 459-521.

12. FOX Y MCSWEENEY. Dairy Chemistry and Biochemistry. Department Food Chemistry University College. Cork Ireland 1998: 239-264.
13. LOPEZ FR, DE LA FUENTE M, RAMOS M, OLANO A. Distribution of minerals and proteins between the soluble and colloidal phases of pressurized milks from different species. J of Dairy Res 1998; 65: 69 -78.
14. GAUCHERON F. Review: The minerals of milk. Reprod Nutr Dev 2005; 45: 473-483.
15. CLOSA SJ, LANDETA MC, ANDÉRICA D, PIGHÍN A, CUFRE JA. Contenido de nutrientes minerales en leches de vaca y derivados de Argentina. ALAN 2003; 3: 53
16. HOLT C. The milk salts and their interaction with casein. Advanced Dairy Chem. 1997; 3: 233-254.
17. UDABAGE, P., MCKINNON, I., AUGUSTIN, M. Mineral and casein equilibria in milk: Effects of added salts and calcium-chelating agents. J of Dairy Res 2000; 67: 361-370.
18. CAMERÓN E. El efecto racial sobre la composición de la leche. EEA. INTA Rafaela. Mercoláctea, 2003: 73-88.
19. O'BRIEN B. Effect of frequency of milking on yield, composition and processing quality of milk. J of Dairy Res 2002; 69: 367-374.
20. PONCE P. Composición Láctea y sus interrelaciones: Expresión genética, nutricional, fisiológica y metabólica de la lactación en las condiciones del trópico. Rev Salud Anim 2009; 31 (2): 69-76.
21. PIRES P, FERNANDES E, VILARINHO M, BARROS M, FERREIRA R, CARNEIRO L, ALMEIDA G, VAZ M. Comparison of milk from two different cow breeds Barrosa and Frisia. Elec J of Env Agr and Food Chem 2003; 2 (4): 1-5.
22. AULDIST M, WALSH B, THOMSON N. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition in New Zealand. J of Dairy Res 1998; 65: 401-411.

23. GRAHAM BD. Factors affecting milk protein concentration and composition of dairy cattle in the subtropical regions of northern Australia (PhD thesis): School of Animal Studies, The University of Queensland, 2008.
24. POLYCHRONIADOU A, VAFOPOULOU A. Variations of major mineral constituents of ewe milk during lactation. [J of Dairy Sci](#) 1985; [68 \(1\)](#): 147-150
25. LOOPER M, STOKES S, WALDNER D, JORDAN E. Managing Milk Composition: Normal sources of variation. College of Agriculture and Home Economics New Mexico State University 2001; 103: 4
26. HARDT PF, OCUMPAUGH WR, GREENE LW. Forage mineral concentration, animal performance and mineral status of heifers grazing cereal pastures fertilized with sulfur. *J Anim Sci* 1991; 69: 2310-2320
27. HERNANDEZ RR 2005: Efecto de la época del año sobre el comportamiento de la producción y la composición de la leche en tres genotipos bajo silvopastoreo. *Livest Res for Rural Develop* [serial on line] 2005 [cited 2011 Nov 20]; 17 Article #136. URL available from: <http://www.lrrd.org/lrrd17/12/hern17136.htm>
28. MACKLE T, BRYANT A, PETCH S, HILL J, AULDIST M. Nutritional influences on the composition of milk from cows of different protein phenotypes in New Zealand. *J of Dairy Sci* 1999; 82:172–180.
29. [RABIEE AR](#), [LEAN IJ](#), [STEVENSON MA](#), [SOCHA MT](#). Effects of feeding organic trace minerals on milk production and reproductive performance in lactating dairy cows: A meta analysis. [J of Dairy Sci](#) 2009; [92 \(6\)](#): 2711-2718
30. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. NRC, 2001. 7<sup>a</sup> Ed. National Academy Press, US (Washington DC): NRC, 2001: 105-16, 244-248, 266.
31. MC DOWELL LR. Recent advances in mineral and vitamins on nutrition of lactating cows. *Pakistan J of Nut.* 2002; 1(1): 8-19.

32. MC NEIL DM, ROCHE JR, STOCKDALE CR, MCLACHLAN BP. Nutritional Strategies for the prevention of hypocalcaemia at calving for dairy cows in pasture based systems. *Australian J of Agr Research*, 2008; 53(7): 755-770.
33. SANDSTROM B. Micronutrient interactions: Effects of absorption and bioavailability. *British J of Nut.* 2001; 85(2): 181-185
34. O`DELL BL. Bioavailability and interactions among trace elements. 4<sup>a</sup> ed. National Academy Press, Nestle Nut Workshop series. Washington: 1985; 8: 41-62
35. MERTZ W. Trace minerals in animal nutrition. 5<sup>a</sup> ed. National Academic Press. New York.1992: 775.
36. PERKIN ELMER INC. The Perkin Elmer Corporation, NYSE: PKI. 1994.
37. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 13<sup>th</sup> ed. Washington D.C. 1980; 2.021 – 2.025.
38. MEKMENE O, LE GRAET Y, GAUCHERON F. A model for predicting salt equilibria in milk and mineral enriched milks. *Food Chemistry*. 2009; 116: 233-239.
39. GUTIERREZ PA. Evaluación de la calidad proteica y mineral de la leche de vacas Frisón Negro. Época de Otoño (tesis licenciatura). Valdivia Chile: Univ. Austral de Chile, 2005.
40. GAUCHER I, PIOT M, BEAUCHER E, GAUCHERON F. Physico-chemical characterization of phosphate-added skim milk. *Int. Dairy J.* 2007; 17: 1375-1383.
41. COULON J, HURTAUD C, REMOND B, VERITE R. Factors contributing to variation in the proportion of casein in cows' milk true protein. *J of Dairy Res.* 1998; 65: 275-287.
42. PÉREZ E. 2003. Relación entre el polimorfismo de  $\kappa$ -CN y  $\beta$ -Lg con el contenido de calcio, fósforo, citrato y termo estabilidad de la leche (tesis licenciatura). Valdivia, Chile: Univ. Austral de Chile, 2003.
43. WEST JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 86: 2131-2144.

44. TSIARAS A., BARGOULI G, BANOS G, BOSCOS C. Effect of Kappa-Casein and Beta-Lactoglobulin Loci on milk production traits and reproductive performance of Holstein cows. *J of Dairy Sci.* 2005; 88: 327–334.
45. GUTIERREZ A, MAGA E, MEADE H, SHOEMAKER C, MEDRANO J. Alterations of the physical characteristics of milk from transgenic mice producing bovine  $\kappa$ -casein. *J of Dairy Sci.* 1996; 79: 791–799.
46. PATIL M, BORKHATRIYA V, BOGHRA V, SHARMA R. Effect of Bovine Milk Kappa-Casein Genetic Polymorphs on Curd Characteristics During Cheddar Cheese Manufacture. *J of Food Sci and Tec.* 2003; 40(6): 582-586.
47. BELLOQUE J, RAMOS M. Determination of the casein content in bovine milk by P-NMR. *J of Dairy Res.* 2002; 69: 411- 418.
48. PHILIPPE M, LE GRAET, GAUCHERON F. The effects of different cations on the physicochemical characteristics of casein micelles. *Food Chemistry.* 2005; 90(4): 673-683.
49. LE GRAET, BRULE G. Les equilibres minéraux du lait. Influence de pH et de la force ionique. *Lait* 1993; 78: 51-60.
50. RODRIGUEZ EM, RODRIGUEZ M, SANZ A, DIAZ R. Mineral concentrations cow's milk from the Canary Islands. *J of Food Composition and Analysis,* 2001; 14: 419-430.
51. ROLDAN VP, BELDOMENICO H, CAMPAGNOLL ID, LUNA M, GAPEL C. Variación de la concentración de hierro y zinc en leche de vacas Holstein a lo largo de la lactancia en dos explotaciones tamberas. *Redvet. Revista electronic de veterinaria,* 2008; 9(1): 1504-1695.
52. SKIRIC M, BRAJENOVIC N, PAVLOVIC I, HAVRANEK JL, PLAVLJANIC N. Determination of metals in cow's milk by flame atomic absorption spectrophotometry. *Czech J Anim Sci,* 2003; 11: 481-486.

53. WITTWER F, CONTRERAS PA, SILVA N, BÖHMWALD H. Efecto de la complementación con magnesio en alimento y agua sobre el control de tetania hipomagnesémica. Arch Med Vet. 1997; 29: 93-98.
54. SANDOVAL GL, DELLAMEA S, POCHON DO, CAMPOS MV. Calcio, fósforo, magnesio y fosfatasa alcalina en vacas lecheras de una región subtropical suplementadas con óxido de magnesio. Vet Mex 1998; 29 (2): 131-136.
55. CHASE CR, BEEDE DK, VAN HORN HH, SHEARER JK, WILCOX CJ, DONOVAN GA. Responses of lactating dairy cows to copper source, supplementation rate, and dietary antagonist. Anim Feed Sci and Tech. 2006; 126 (3-4): 237-257.
56. OSTERSEN S, FOLDAGER J, HERMANSEN J. Effects of stage of lactation, milk protein genotype and body condition at calving on protein composition and renneting properties of bovine milk. J of Dairy Res. 1996; 64: 207-219.
57. HERMASEN, J., OESTERSEN, S., JUSTESEN, N., AAES, O. 1999. Effects of dietary protein supply on caseins, whey proteins, proteolysis and renneting properties in milk from cows grazing clover or N fertilized grass. J of Dairy Res. 1999; 66: 193-205.

**Cuadro 1.**

Principales componentes (%) de la leche de vaca.

Agua	87.5
Proteína (g)	3.3
Caseína (g)	2.8
Lacto albúmina (g)	0,4
Grasa (g)	3.7
Lactosa (g)	4.8
Valor calórico (Kcal)	69
Minerales (g)	0.72
Vitamina A (UI)	158
Vitamina D (UI)	2.0
Tiamina (mg)	0.04
Rivoflavina (mg)	0.18
Ácido Fólico (ug)	2.0
Vitamina B12 (ug)	0.50

Capra (2003)

**Cuadro 2.**

Contenido (mg/l) de elementos minerales en leche de vaca.

<b>Mineral</b>	<b>Promedio</b>	<b>Rango</b>	<b>Extremos</b>
Sodio	500	350-600	110 -1150
Potasio	1450	1350-1550	1150-2000
Calcio	1200	1000-1400	650-2650
Magnesio	130	100-150	20-230
Fósforo (Total)	950	750-1100	470-1440
Fósforo	750 - 1000	800-1400	540-2420
Cloro	100		
Sulfato	200		
Citrato	1750		

Fox y McSweeney (1998)

**Cuadro 3.**

Cationes y aniones (mM) en leche de vaca completa y sus fracciones soluble y micelar.

	Ca	P	Mg	Citrato	Na	K	Cl
Total	29.4	20.9	5.1	9.8			
Soluble	9.2	11.2	3.3	9.2	24.2	34.7	30.2
Micelar	20.2	9.7	1.8	0.6			

Gaucherón (2005)

#### Cuadro 4.

Necesidades de elementos minerales para vacas lecheras en producción.

<b>Elementos Requeridos</b>	<b>Valor sugerido</b>	<b>Rango</b>
<b>Macroelementos</b>		
Calcio, %	0.53 - 0.67	--
Fósforo, %	0.32 - 0.44	--
Magnesio, %	0.18 - 0.21	--
Potasio, %	1 - 1.07	--
Sodio, %	--	0.19 - 0.23
Azufre, %	0.20	--
<b>Microelementos</b>		
Cobalto, ppm	0.20	--
Cobre, ppm	--	9 - 11
Yodo, ppm	--	0.34 - 0.60
Hierro, ppm	--	12.3 - 18
Manganeso, ppm	--	12 - 14
Selenio, ppm	0.3	--
Zinc, ppm	--	43 - 55

NRC (2001)

### Cuadro 5.

Requerimientos minerales para ganado lechero en condiciones tropicales.

Mineral	Unidad	Requerimiento	Concentración máxima tolerable
Calcio	%	0.6 - 0.67	
Cobalto	mg/kg	0.10	10.00
Cobre	mg/kg	10.00	100.00
Yodo	mg/kg	0.50	50.00
Hierro	mg/kg	50.00	1,000.00
Magnesio	%	0.20	0.40
Manganeso	mg/kg	40.00	1,000.00
Molibdeno	mg/kg	—	5.00
Fósforo	%	0.32 – 0.38	
Potasio	%	0.70	3.00
Selenio	mg/kg	0.10	2.00
Sodio	%	0.10	—
Zinc	mg/kg	30.00	500.00

McDowell (2003)

### Cuadro 6.

Principales trastornos ocasionados por deficiencias de elementos minerales

	Bajos porcentajes de preñez
Fósforo (P)	Infertilidad Reducción de la velocidad de crecimiento en la recría Disminución de la producción láctea
Magnesio (Mg)	Tetania hipomagnesémica (trastornos de excitabilidad muscular) con un 4% de mortandad de rodeos afectados Síndrome de vaca caída
Sodio (Na)	Rápida pérdida de peso vivo Disminución de la producción de leche Disminución del ritmo de crecimiento en la recría
Calcio (Ca)	Retención placentaria Fiebre de leche Distocias Reducción de la producción de leche Disminución de la tasa de crecimiento
Cobre (Cu)	Reducción de la fertilidad por demora o supresión del estro Depresión del Sistema Inmune (mayor predisposición a queratoconjuntivitis y mastitis)
Zinc (Zn)	Perjudica el crecimiento de terneros Predisposición a enfermedades de la piel, problemas podales

y mayor incidencia de mastitis

Underwood (2001)

**Cuadro 7.**  
Composición del alimento comercial Abatez .

Análisis garantizado	Ingredientes
Cenizas 9,20 max	Granos: sorgo, maíz
Grasas 5,20 min.	Pastas proteicas de origen vegetal: soya, canola.
Fibra 11,20 max.	Subproductos de molinería: pulido de arroz, salvado de trigo, cascarilla de soya
Humedad 12,00 max	Melaza
Proteína 16,00 min.	Premezcla vitamínica, mineral, aminoácidos
E.L.N. 46,20 min.	Minerales: calcio, ortofosfato, sal

### **Cuadro 8.**

Distribución de los animales en el ensayo experimental

<b>Grupo</b>	<b>Primer Tercio</b>	<b>Segundo tercio</b>	<b>Tercer tercio</b>
<b>Testigo</b>	5 vacas NP=2,4,5,10,10	5 vacas NP=3,3,4,7,7	5 vacas NP=1,2,3,3,5
<b>Complementado</b>	5 vacas NP=1,1,1,1,4	5 vacas NP=1,1,2,4,10	5 vacas NP=4,5,6,7,10

NP= Número de parto de cada una de las vacas distribuidas en los grupos testigo y complementado.

**Cuadro 9.**

Concentración promedio de elementos minerales (ug/g) en pasto y concentrado para la estimación de la complementación de acuerdo al NRC.

<b>Alimento</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>P</b>
Potrero	4455.4	1282.3	12720.1	1179.03	40.61	0.13	1075.6	3164.8
Concentrado	19207	8575	1588.01	2212.4	49.47	7.32	669.7	9573.9

**Cuadro 10.**

Composición del complemento de elementos minerales en el alimento concentrado de las vacas de acuerdo a los requerimiento del NRC, 2001.

<b>Mineral</b>	<b>Total mg/vaca</b>
Sodio	24160
Magnesio	28800
Zinc	688
Cobre	144
Total	53792 mg

**Cuadro 11.**

Medias ajustadas ( $\pm$  EE) de la concentración de P ( $\mu\text{g/g}$ ) en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y complementadas.

<b>Muestreo</b>	<b>Leche completa (descremada)</b>	
	Testigo	Complementado
1	111.6 $\pm$ 15.0	82.4 $\pm$ 3.6
2	499.4 $\pm$ 28.9	588.8 $\pm$ 26.1
3	545.1 $\pm$ 26.1	565.7 $\pm$ 26.4
4	241.4 $\pm$ 35.2	455.6 $\pm$ 41.9***
5	673.2 $\pm$ 34.9	792.5 $\pm$ 60.3

<b>Muestreo</b>	<b>Porción micelar</b>	
	Testigo	Complementado
1	1889.5 $\pm$ 208.4	2292.6 $\pm$ 203.6
2	2591.4 $\pm$ 264.1	3239.1 $\pm$ 297.8
3	3606.7 $\pm$ 466.9	4299.6 $\pm$ 361.7
4	1638.0 $\pm$ 222.4	3158.9 $\pm$ 103.3***
5	3237.3 $\pm$ 263.7	4849.0 $\pm$ 421.9*

<b>Muestreo</b>	<b>Porción hidrosoluble</b>	
	Testigo	Complementado
1	174.7 $\pm$ 19.7	153.6 $\pm$ 11.4
2	281.9 $\pm$ 23.0	202.7 $\pm$ 25.2
3	278.6 $\pm$ 21.8	277.0 $\pm$ 26.4
4	416.5 $\pm$ 64.9	362.6 $\pm$ 64.0

5

329.1 ± 36.4

510.9 ± 61.6

\* Diferencia significativa entre tratamientos (P&lt;0.05)

\*\*\* Diferencia significativa entre tratamientos (P&lt;0.001)

**Cuadro 12.**

Medias ajustadas (± EE) de la concentración de Na (µg/g) en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y complementadas.

Muestreo	Leche completa (descremada)	
	Testigo	Complementado
1	1823.4 ± 153.6	2441.1 ± 478.7
2	1243.4 ± 160.8	975.8 ± 191.3
3	660.8 ± 16.8	758.5 ± 148.7
4	1283.3 ± 52.6*	804.3 ± 157.7
5	576.8 ± 38.3	582.8 ± 114.3

Muestreo	Porción micelar	
	Testigo	Complementado
1	349.2 ± 40.0	287.1 ± 34.9
2	808.2 ± 214.9	296.8 ± 29.2
3	356.4 ± 30.3	543.5 ± 34.1
4	522.2 ± 29.3	554.5 ± 32.0
5	356.3 ± 27.0	320.1 ± 22.5

Muestreo	Porción hidrosoluble	
	Testigo	Complementado
1	1277.6 ± 21.1	1399.3 ± 76.4
2	1960.5 ± 127.0	1527.7 ± 213.6
3	3673.7 ± 220.7	3950.3 ± 517.2

4	3236.4 ± 159.8	3395.0 ± 232.6
5	3491.0 ± 213.3	3248.7 ± 257.9

\* Diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05)

### Cuadro 13.

Medias ajustadas (± EE) de la concentración de Ca (µg/g) en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y complementadas.

Muestreo	Leche completa	
	Testigo	Complementado
1	364.8 ± 28.4	244.3 ± 15.1
2	285.1 ± 13.1	298.0 ± 15.5
3	406.8 ± 24.2	419.7 ± 13.9
4	723.5 ± 46.4***	332.7 ± 19.6
5	438.8 ± 31.4	420.0 ± 20.5

Muestreo	Porción micelar	
	Testigo	Complementado
1	2965.8 ± 446.3	2825.5 ± 228.9
2	4708.0 ± 1213.5	5181.1 ± 1687.8
3	6264.6 ± 753.6	8861.5 ± 1753.7
4	6117.7 ± 576.2*	1804.2 ± 242.1
5	5905.1 ± 802.5	7678.1 ± 977.1

Muestreo	Porción hidrosoluble	
	Testigo	Complementado
1	7.6 ± 2.2	6.6 ± 0.8
2	8.5 ± 1.3	14.5 ± 2.1
3	16.7 ± 2.6	13.4 ± 1.3

4	22.5 ± 3.8	26.4 ± 3.0
5	44.2 ± 6.9	26.9 ± 4.2*

\* Diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05)

\*\*\* Diferencia significativa entre tratamientos (P<0.001)

#### Cuadro 14.

Medias ajustadas (± EE) de la concentración de Fe (µg/g) en leche completa y en su porción micelar proveniente de vacas testigo y complementadas.

Muestreo	Leche completa	
	Testigo	Complementado
1	11.4 ± 0.9**	7.2 ± 0.3
2	4.4 ± 0.3	2.6 ± 0.4
3	3.6 ± 0.4	4.0 ± 0.5
4	8.8 ± 0.4**	4.6 ± 0.5
5	4.6 ± 0.5	6.0 ± 0.6

Muestreo	Porción micelar	
	Testigo	Complementado
1	47.4 ± 2.5	39.5 ± 4.1
2	70.9 ± 10.1	36.6 ± 9.2
3	225.4 ± 37.7	249.3 ± 47.7
4	88.5 ± 6.6	49.6 ± 8.5
5	57.0 ± 6.7	72.4 ± 7.7

\* \* Diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05)

### Cuadro 15.

Medias ajustadas ( $\pm$  EE) de la concentración de K ( $\mu\text{g/g}$ ) en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y complementadas.

Muestreo	Leche completa	
	Testigo	Complementado
1	1336.7 $\pm$ 101.3	1031.4 $\pm$ 029.1
2	2424.7 $\pm$ 131.8	1896.5 $\pm$ 296.5
3	1270.8 $\pm$ 42.5	1459.3 $\pm$ 059.9
4	1690.0 $\pm$ 106.9	1384.0 $\pm$ 133.9
5	1151.3 $\pm$ 66.3	1253.9 $\pm$ 064.1

Muestreo	Porción micelar	
	Testigo	Complementado
1	462.7 $\pm$ 36.6	269.8 $\pm$ 9.4
2	513.5 $\pm$ 55.8	349.9 $\pm$ 31.2
3	433.9 $\pm$ 42.5	628.8 $\pm$ 39.1
4	619.9 $\pm$ 34.7	690.9 $\pm$ 47.7
5	390.9 $\pm$ 41.2	561.3 $\pm$ 52.3

Muestreo	Porción hidrosoluble	
	Testigo	Complementado
1	1625.3 $\pm$ 52.2	616.7 $\pm$ 38.7
2	3078.6 $\pm$ 339.8	2952.6 $\pm$ 436.8
3	3582.1 $\pm$ 357.2	3399.5 $\pm$ 349.3

4	6596.3 ± 642.2	5581.2 ± 325.1
5	7383.4 ± 967.8	9590.3 ± 1549.2

### Cuadro 16.

Medias ajustadas ( $\pm$  EE) de la concentración de Mg ( $\mu\text{g/g}$ ) en leche completa y en las porciones micelar e hidrosoluble proveniente de vacas testigo y complementadas.

Muestreo	Leche completa	
	Testigo	Complementado
1	81.0 ± 3.8	70.1 ± 1.9
2	68.5 ± 2.4	76.1 ± 2.4
3	85.1 ± 4.4	90.5 ± 2.3
4	89.9 ± 4.1	102.7 ± 3.0
5	80.6 ± 1.8	119.5 ± 7.0

Muestreo	Porción micelar	
	Testigo	Complementado
1	261.8 ± 18.1	150.1 ± 7.9
2	395.1 ± 31.9	249.3 ± 25.6
3	328.4 ± 30.3	365.5 ± 29.3
4	379.7 ± 30.9	363.2 ± 29.0
5	489.5 ± 37.6	381.0 ± 28.7

Muestreo	Porción hidrosoluble	
	Testigo	Complementado
1	33.2 ± 1.6	32.7 ± 1.2
2	47.5 ± 5.9	64.1 ± 5.9

3	101.7 ± 3.5	115.0 ± 8.7
4	95.0 ± 4.3	108.7 ± 3.6
5	98.4 ± 4.3	83.4 ± 7.6

### Cuadro 17.

Porcentaje de la distribución de los minerales en las porciones micelar e hidrosoluble de la leche proveniente de vacas testigo y complementadas

	Total (ug/g)		Porción micelar (%)		Porción hidrosoluble (%)	
	Testigo	Complemen tado	Testigo	Complemen tado	Testigo	Complemen tado
P	2888.8	3869.3	<b>89.7</b>	<b>92.2</b>	10.3	7.8
Ca	5212.2	5287.7	<b>99.6</b>	<b>99.7</b>	0.4	0.3
Na	3206.4	3104.7	14.9	12.9	<b>85.1</b>	<b>87.1</b>
Fe	97.9	89.5	<b>100</b>	<b>100</b>	-	-
K	4937.4	4928.3	9.8	10.1	<b>90.2</b>	<b>89.9</b>
Mg	446.1	382.6	<b>83.1</b>	<b>78.9</b>	16.9	21.1

En negritas se señala la porción en la cual es más abundante cada mineral.

**Cuadro 18.**

Calculo de la distribución de los elementos minerales ( $\mu\text{g/g}$ ) entre la porción hidrosoluble y micelar de la leche.

	<b>Total</b>	<b>Porción hidrosoluble</b>	<b>Porción micelar</b>
Ca	1202.3	364.7	837.6
Mg	121.50	90.20	31.40
Na	505.80	501.2	5.050
K	1485.7	1473.9	13.68
P	650.70	309.73	340.70

Mekmene (2009)

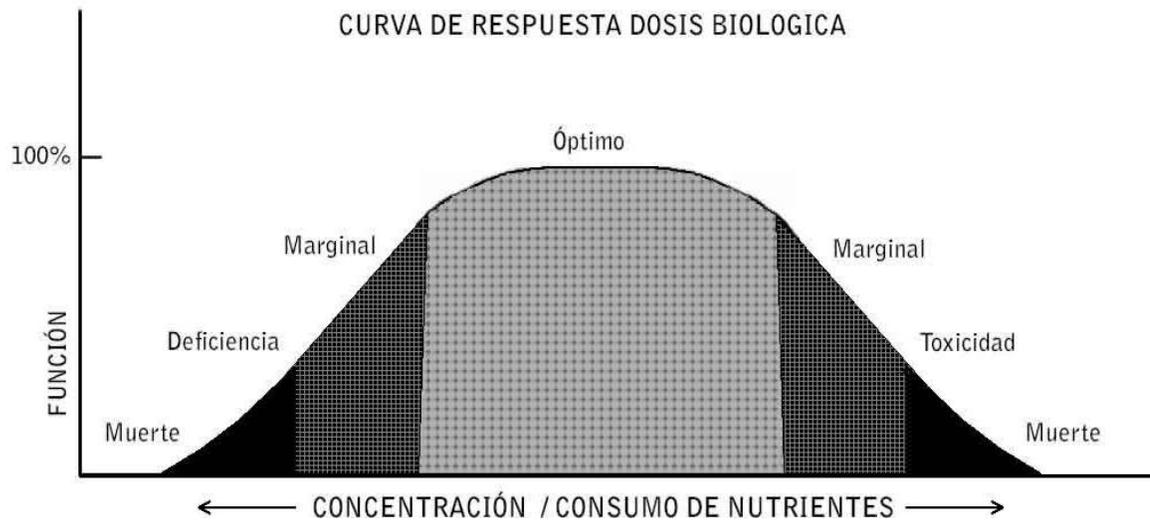
**Cuadro 19.**

Producción de leche y cantidad de proteína cruda de vacas testigo y complementadas.

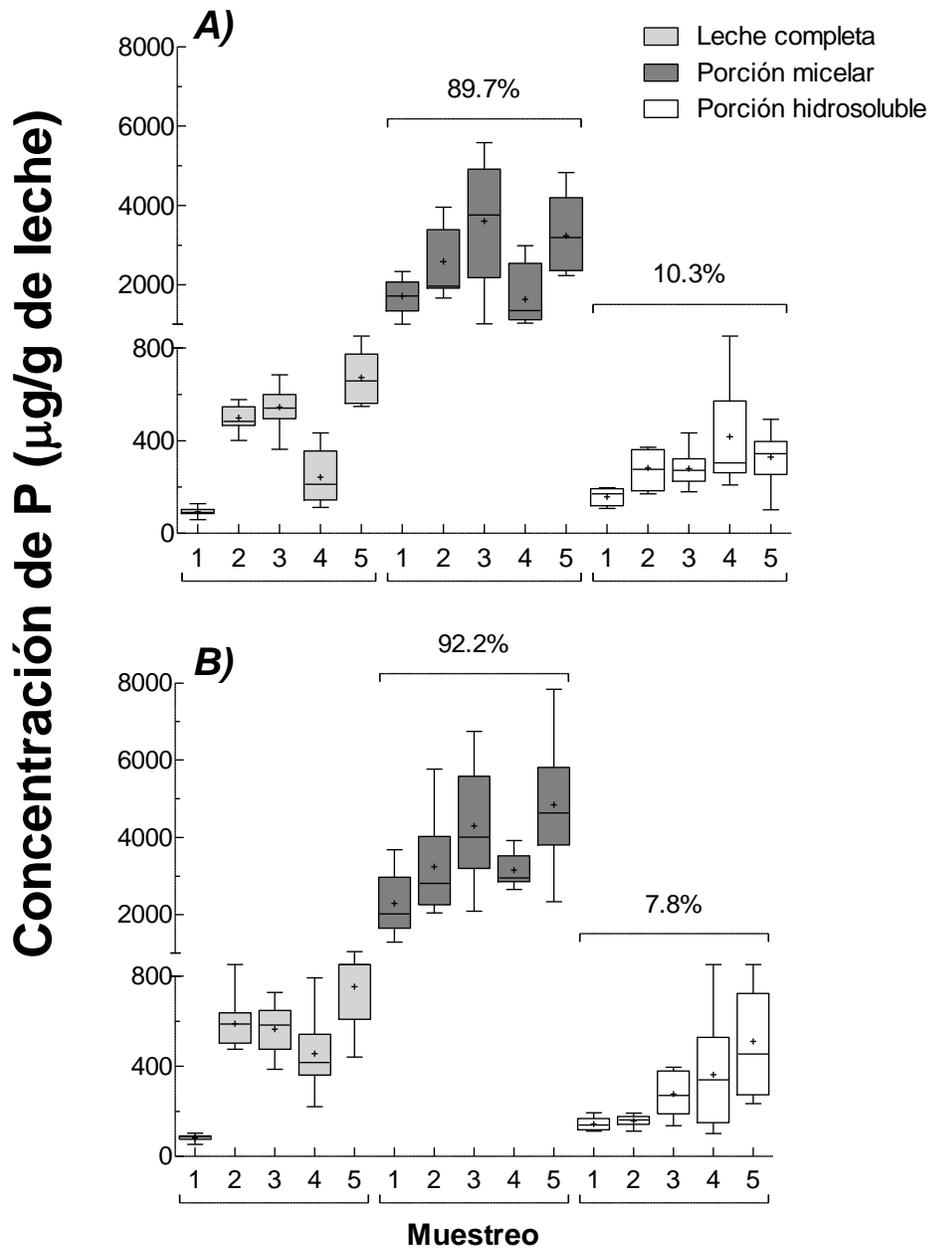
Muestreo	Producción de Leche	
	Testigo	Complementado
1	7.2	7.0
2	6.5	6.5
3	7.3	7.1
4	7.3	6.0
5	6.5	6.3

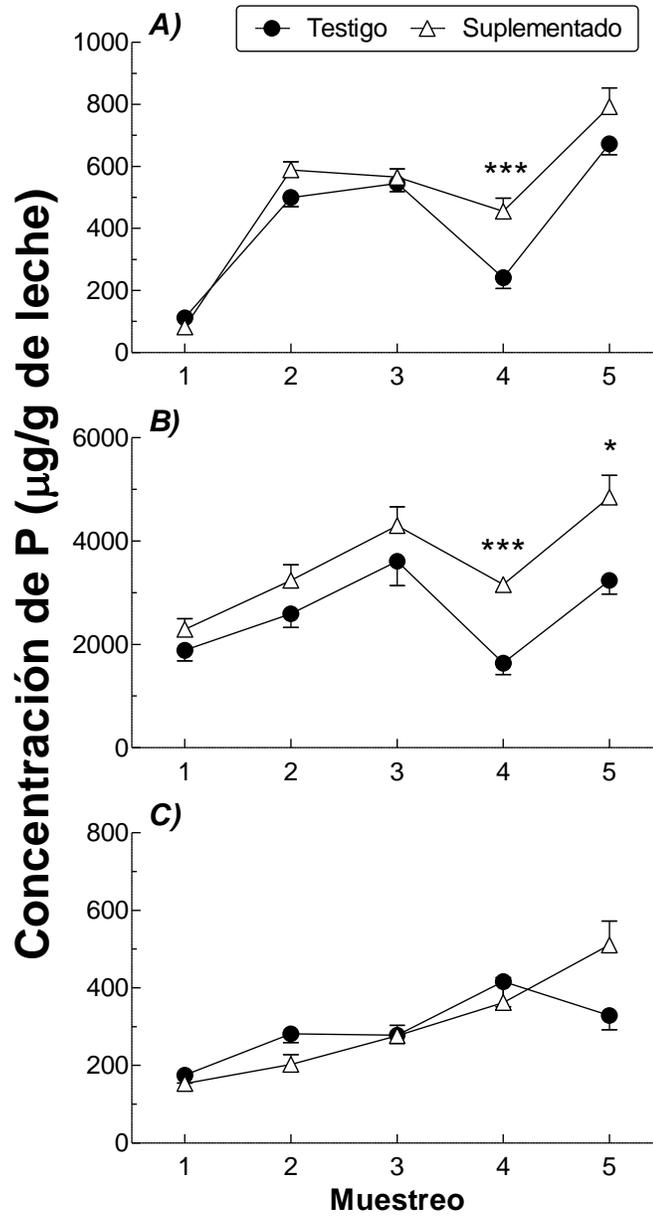
Muestreo	Proteína Cruda	
	Testigo	Complementado
1	3.23	3.21
2	2.93	3.14
3	3.13	3.10
4	2.98	3.77
5	2.73	2.83



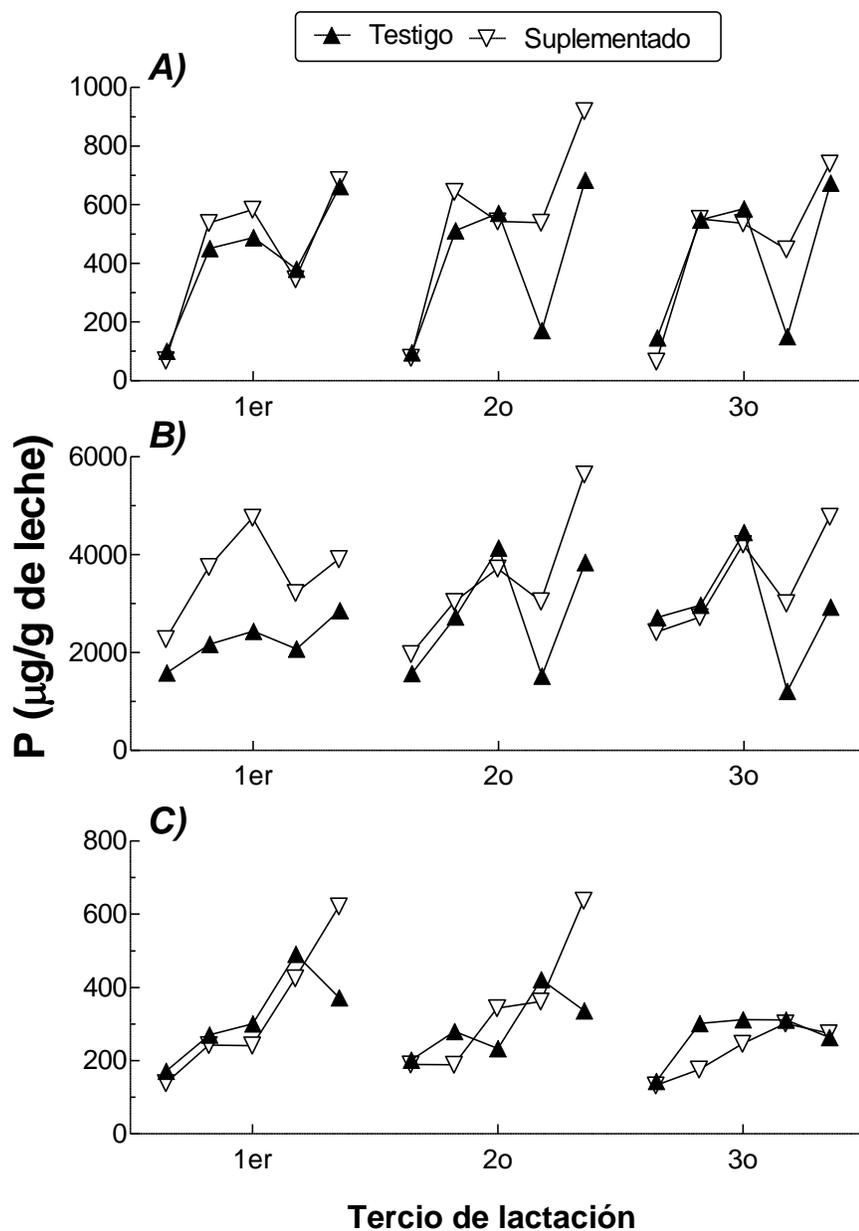
. **Figura 1.** Respuesta animal a un incremento de los niveles dietéticos de un nivel esencial de un elemento mineral (Mertz 1981).



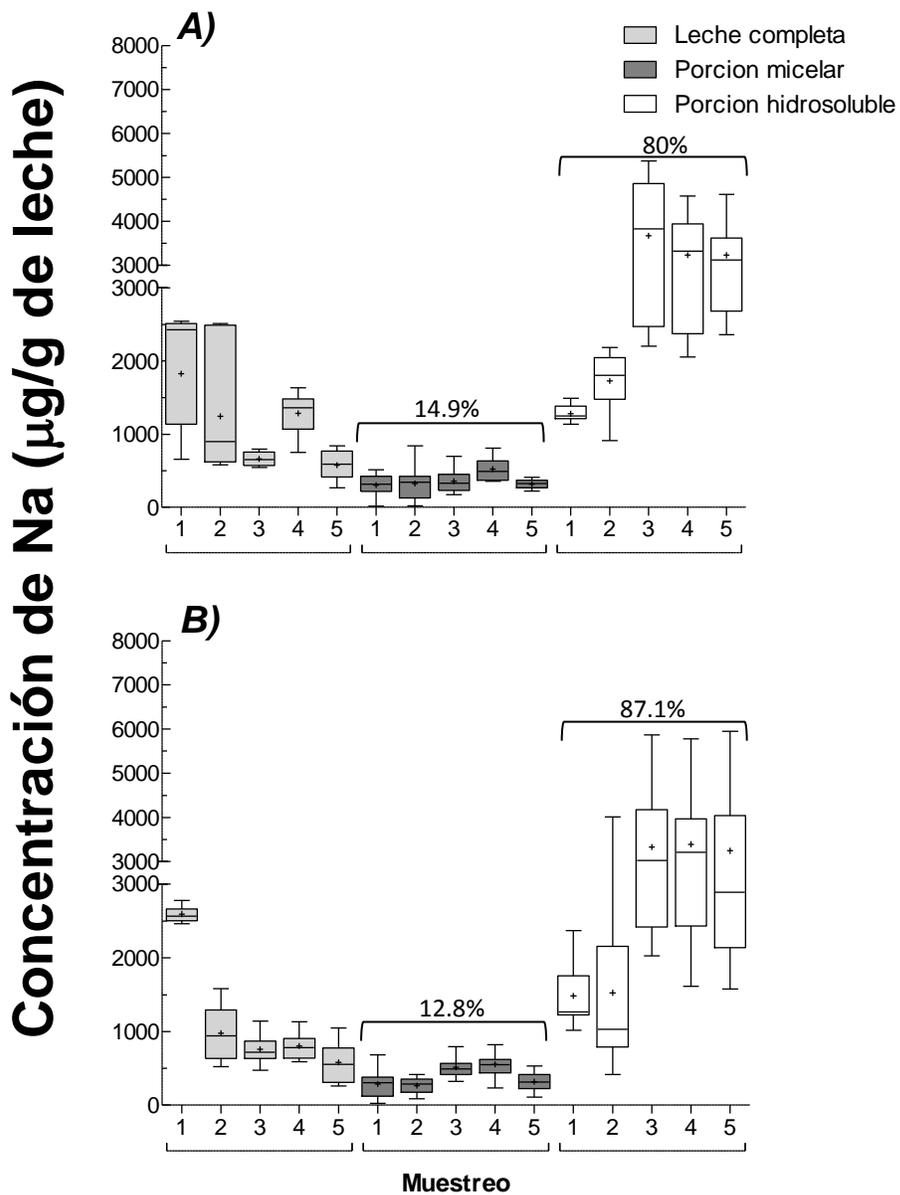
**Figura 2.** Concentración de P en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo (panel A) y con complementación mineral (panel B). + indica la media de la cantidad de fósforo. Los valores expresados en porcentajes que se presentan sobre los corchetes invertidos indican la distribución de P entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche.



**Figura. 3.** Concentración promedio ( $\pm$  EE) de P en leche de bovino completa (A), porción micelar (B) e hidrosoluble (C). \* y \*\*\* entre los tratamientos de cada panel Indican diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente).

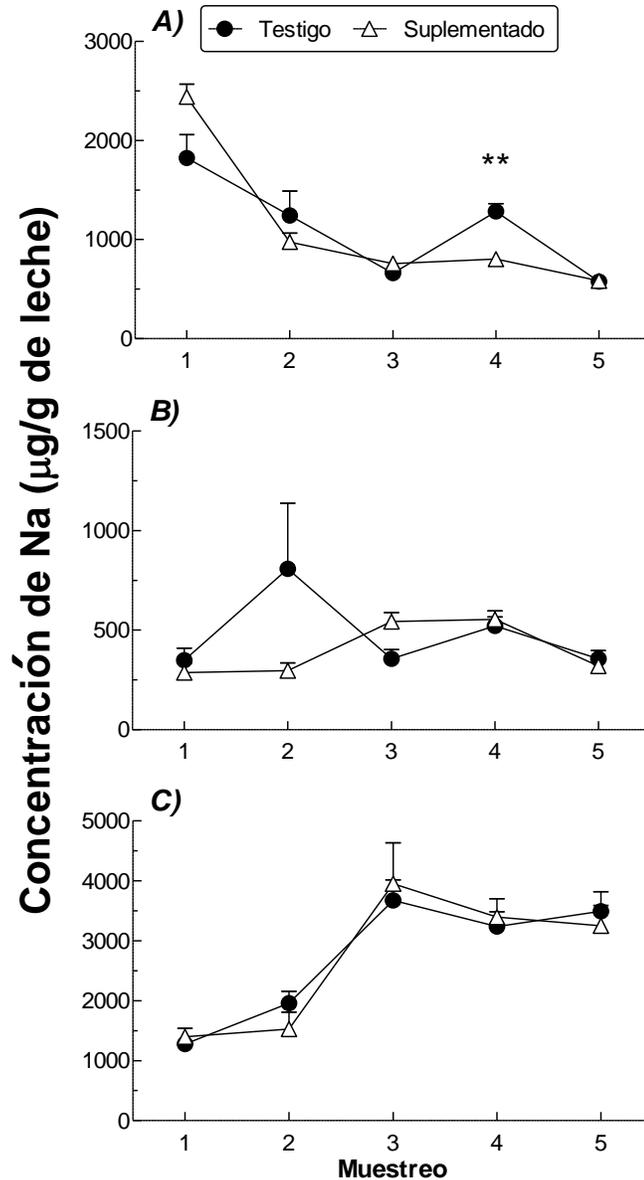


**Figura. 4.** Concentración promedio de P en leche de bovino completa (A), porción micelar (B) e hidrosoluble (C). entre los tratamientos correspondiente a las vacas en primero, segundo y tercer tercio de lactación.



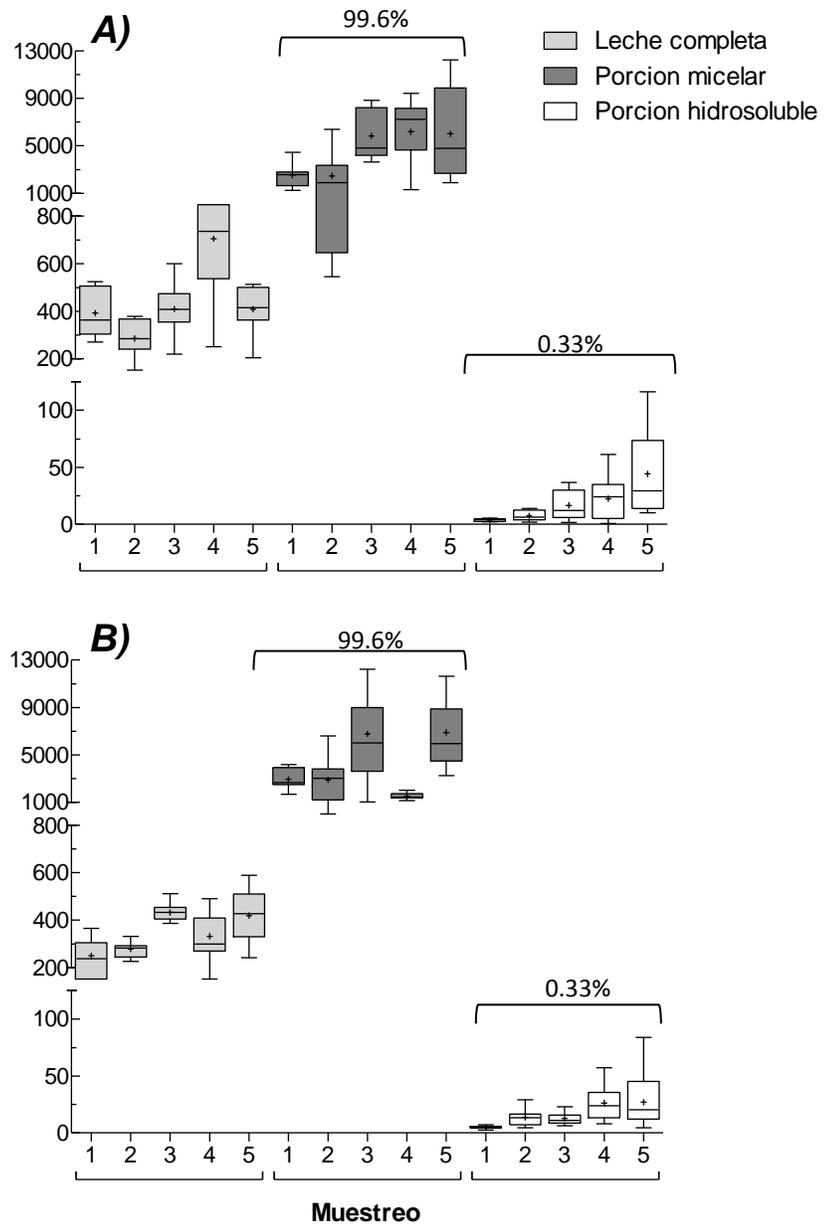
**Figura 5.** Concentración de Na en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo (panel A) y con complementación mineral (panel B). + indica la media de la cantidad de Na. Los valores

expresados en porcentajes que se presentan sobre los corchetes invertidos indican la distribución de Na entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche.

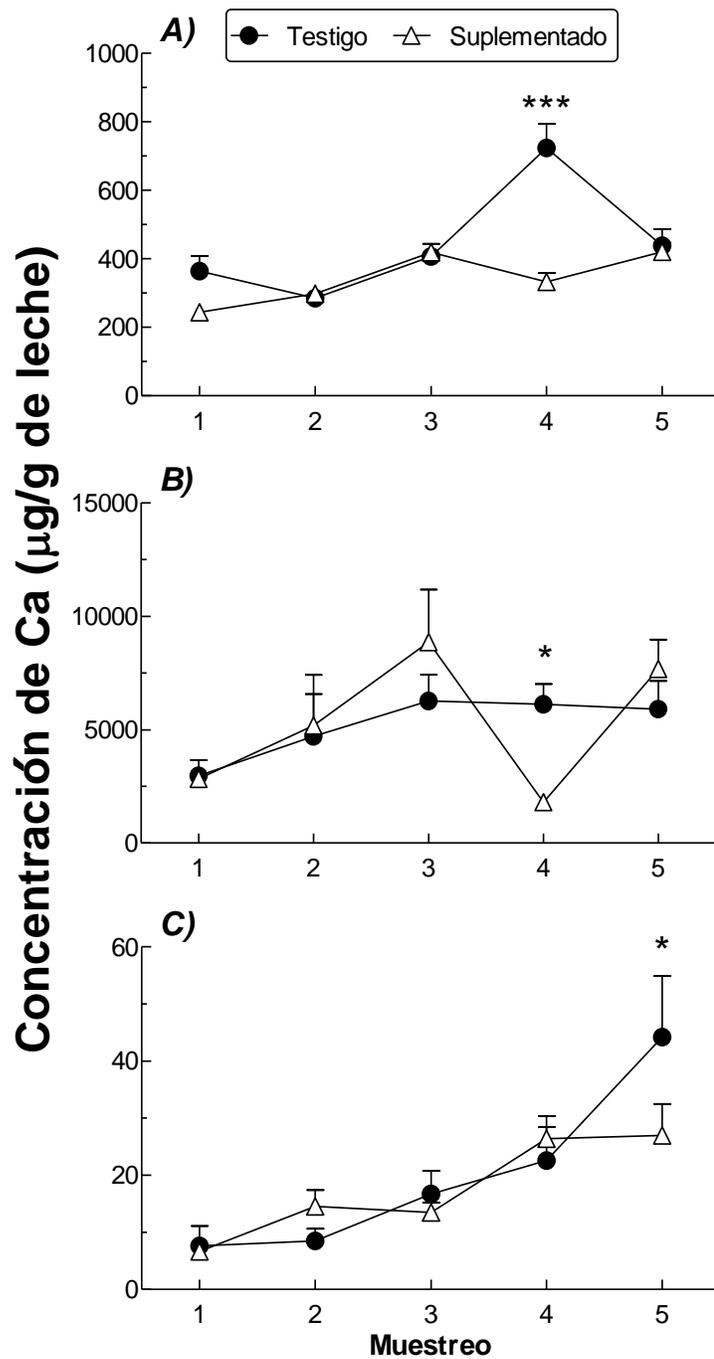


**Figura 6.** Concentración promedio ( $\pm$  EE) de Na en leche de bovino completa (A), porción micelar (B) e hidrosoluble (C). \* y \*\*\* entre los tratamientos de cada panel Indican diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente).

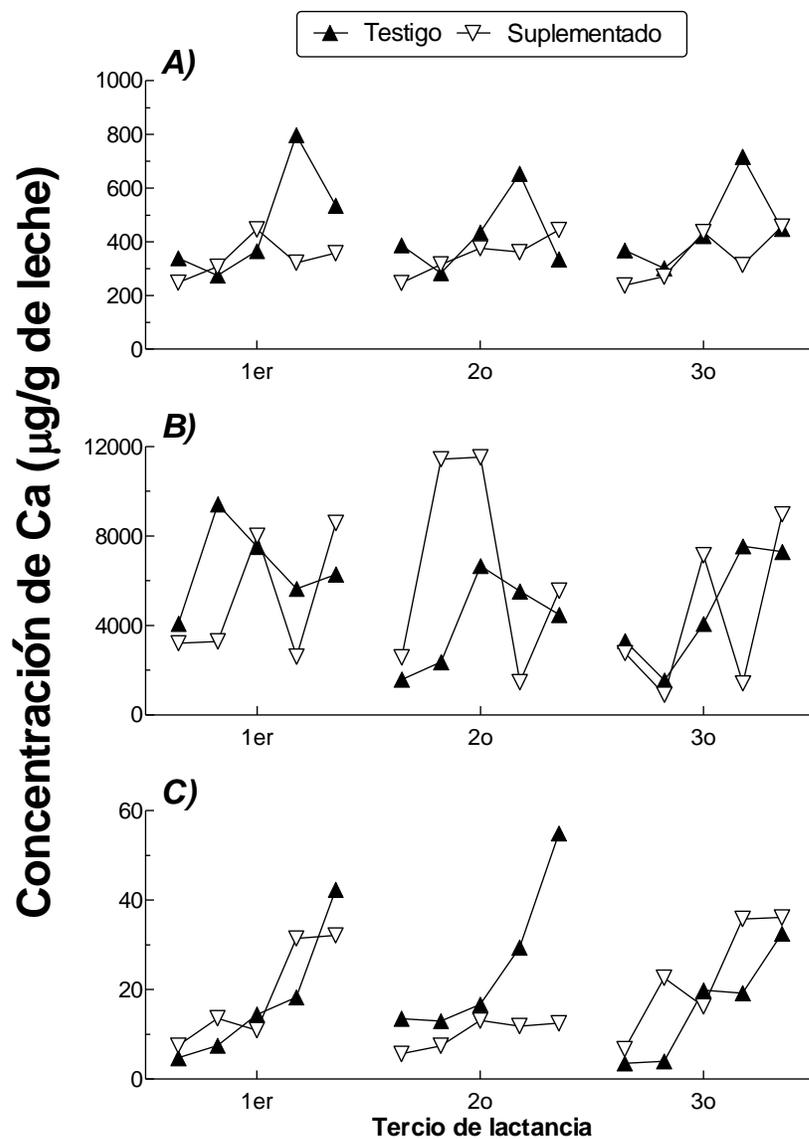
# Concentración de Ca ( $\mu\text{g/g}$ de leche)



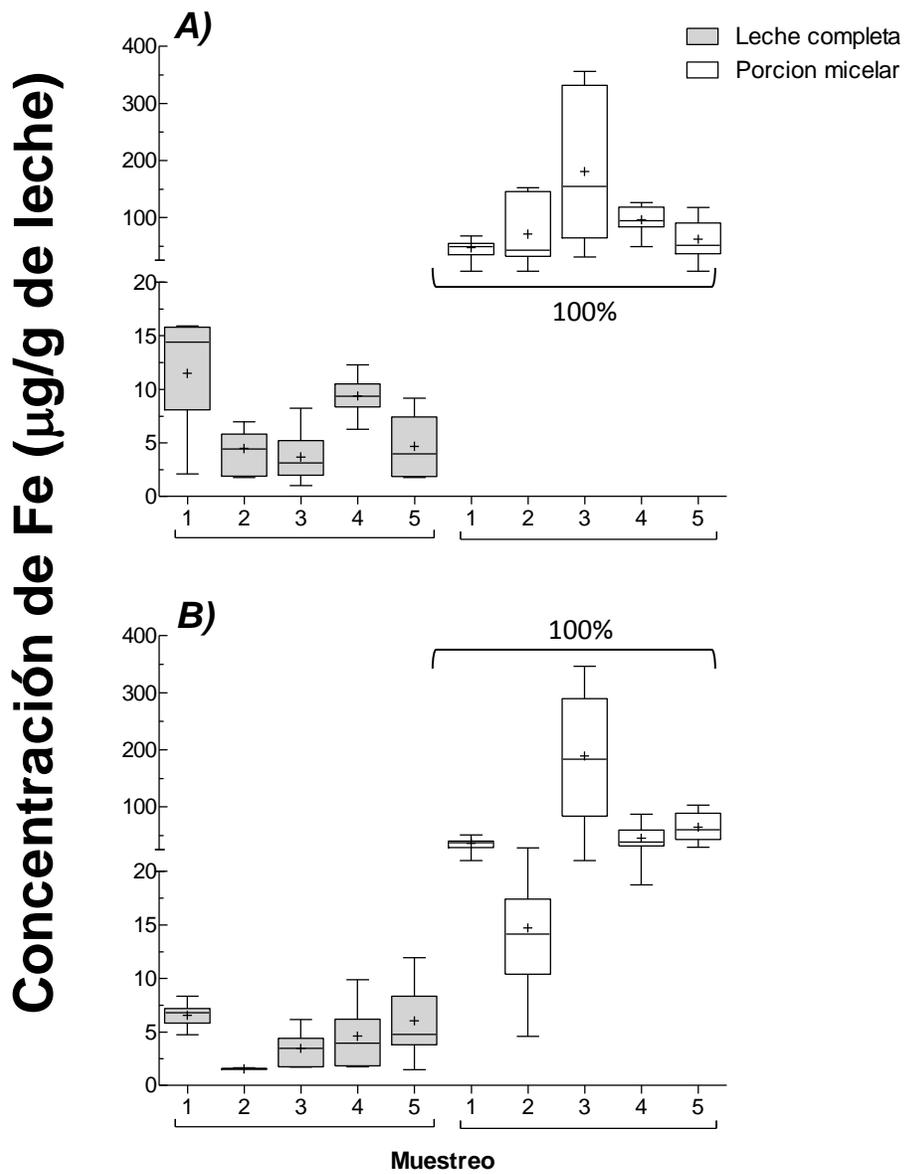
**Figura 7.** Concentración de Ca en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo (panel A) y con complementación mineral (panel B). + indica la media de la cantidad de Ca. Los valores expresados en porcentajes que se presentan sobre los corchetes invertidos indican la distribución de Ca entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche.



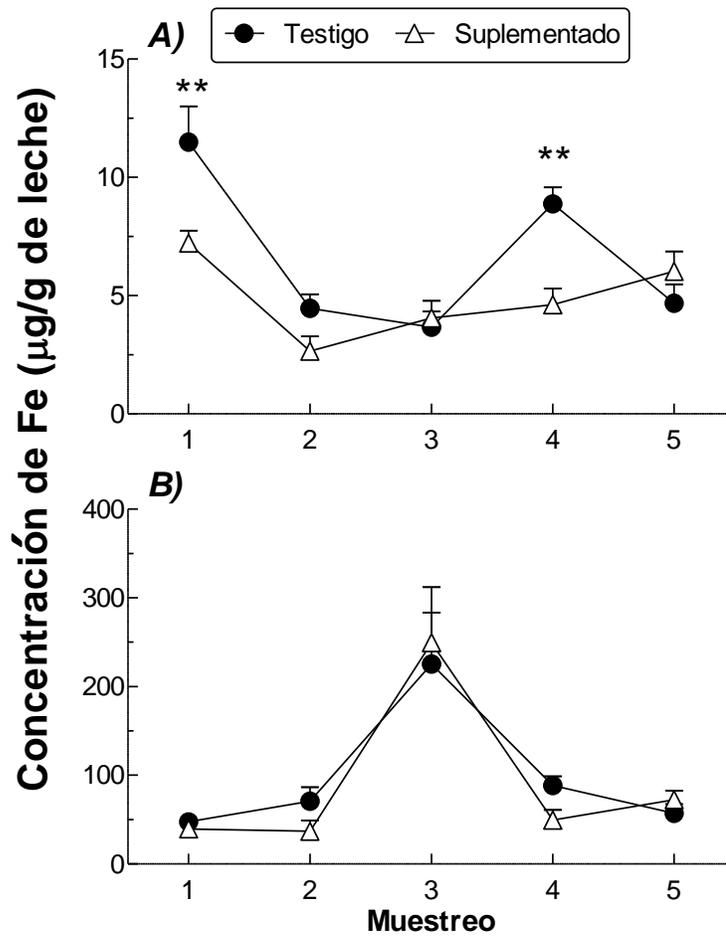
**Figura 8.** Concentración promedio ( $\pm$  EE) de Ca en leche de bovino completa (A), porción micelar (B) e hidrosoluble (C). \* y \*\*\* entre los tratamientos de cada panel indican diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente).



**Figura 9.** Graficas antes-después que muestran el cambio del contenido de Ca durante cinco muestreos de leche completa (panel A), porción micelar (panel B) e hidrosoluble (panel C) obtenidos en vacas testigo y con complementación mineral durante los tercios de lactancia.

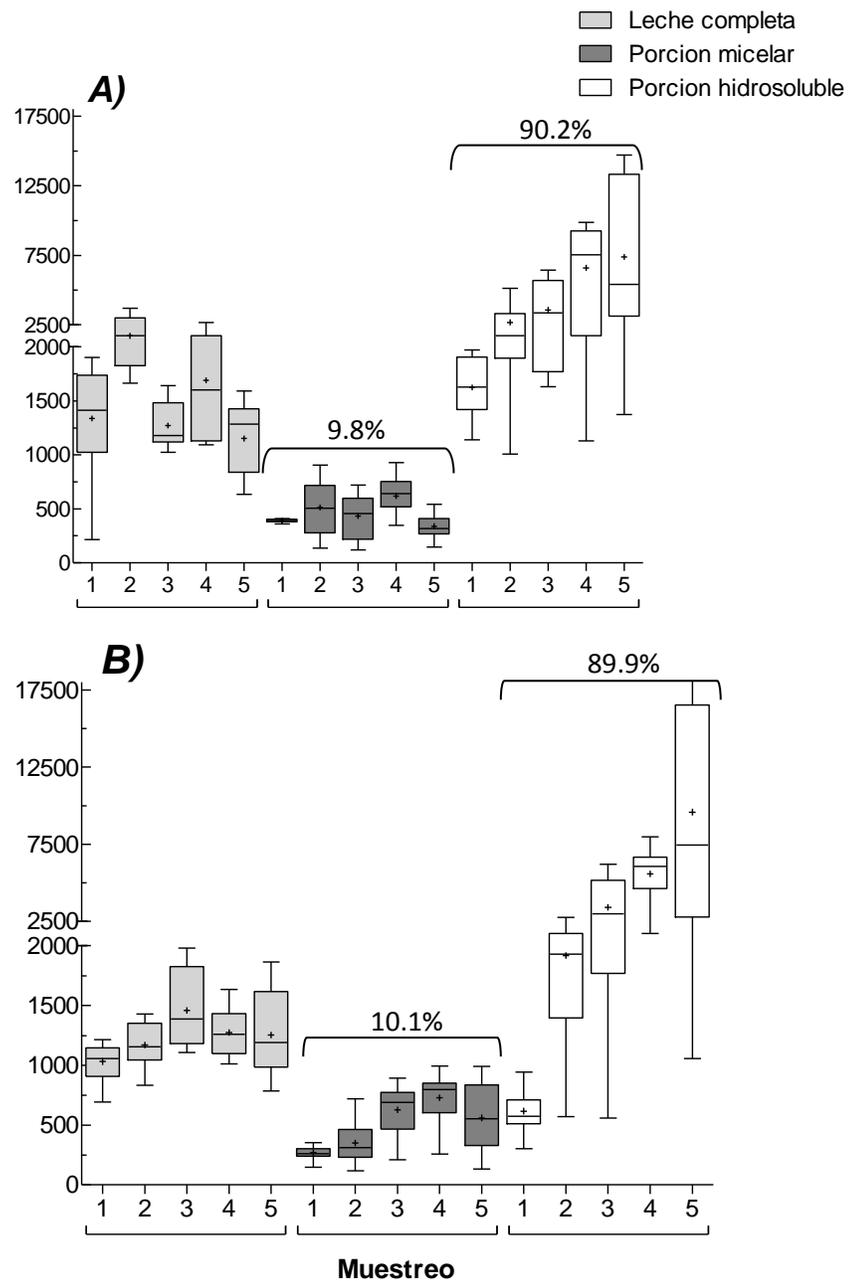


**Figura 10.** Concentración de Fe en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo (panel A) y con complementación mineral (panel B). + indica la media de la cantidad de Fe. Los valores expresados en porcentajes que se presentan sobre los corchetes invertidos indican la distribución de Fe entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche.

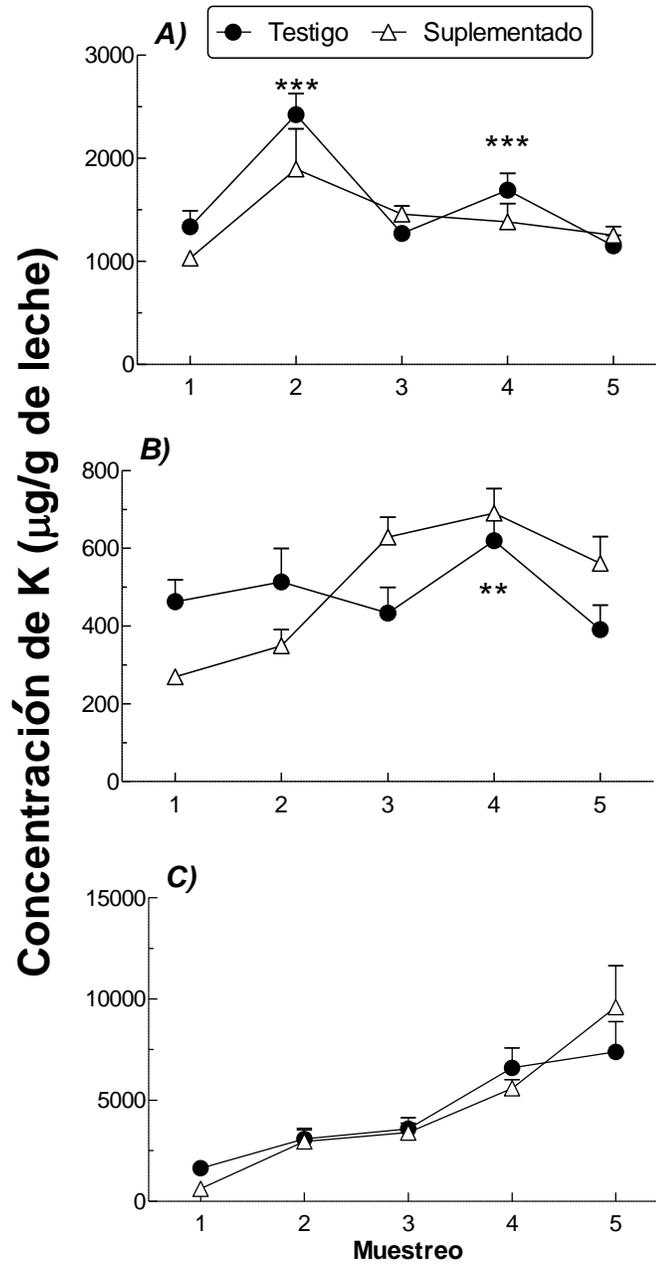


**Figura 11.** Concentración promedio ( $\pm$  EE) de Fe en leche de bovino completa (A), porción micelar (B). \* y \*\* entre los tratamientos de cada panel indican diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente).

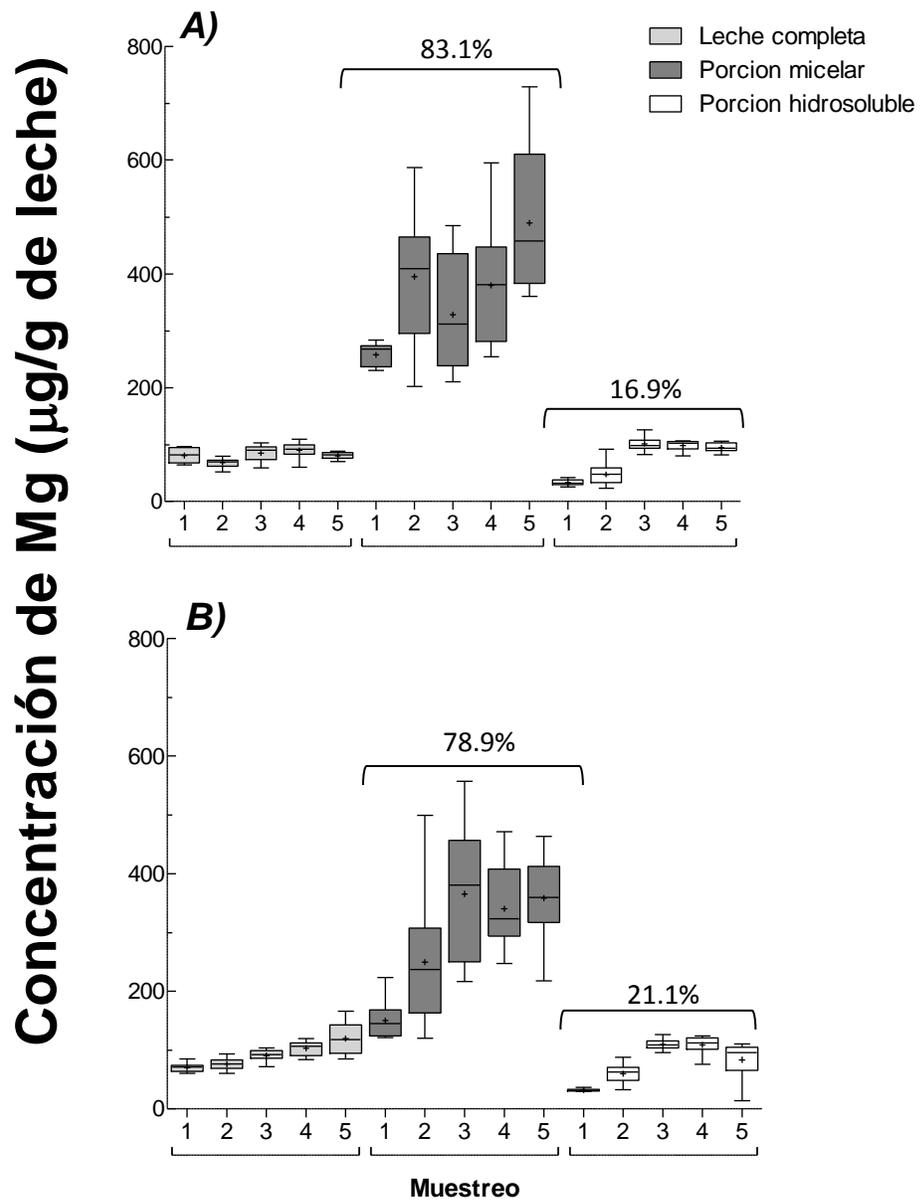
# Concentración de K ( $\mu\text{g/g}$ de leche)



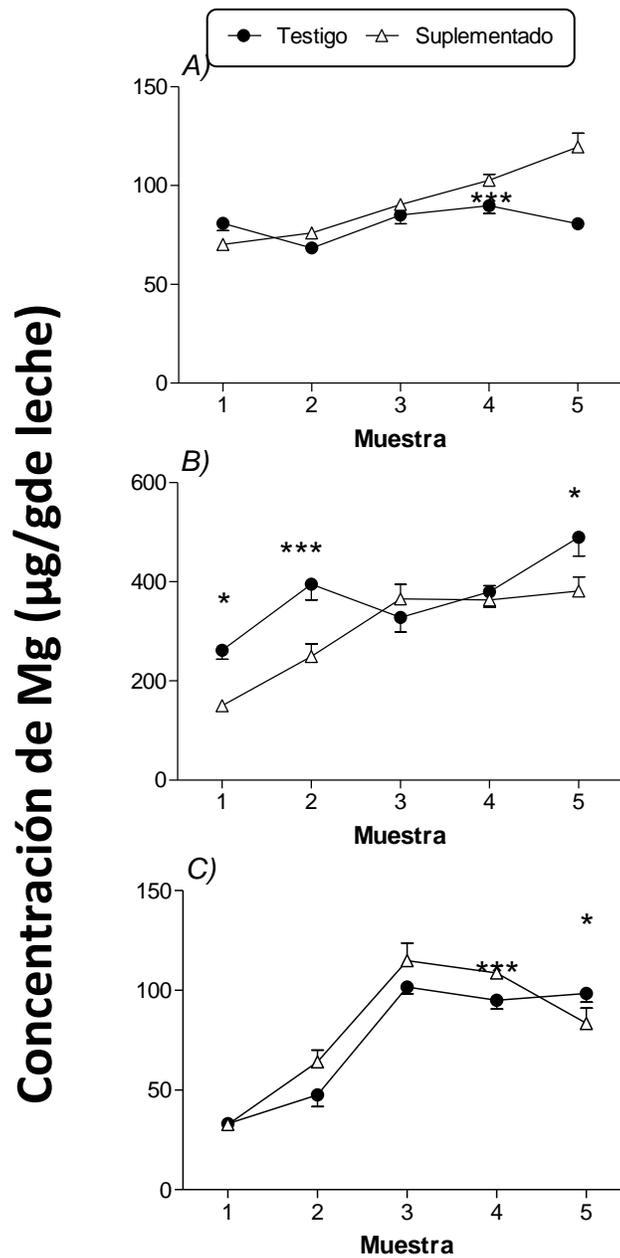
**Figura 12.** Concentración de K en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo (panel A) y con complementación mineral (panel B). + indica la media de la cantidad de K. Los valores expresados en porcentajes que se presentan sobre los corchetes invertidos indican la distribución de K entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche.



**Figura 13.** Concentración promedio ( $\pm$  EE) de K en leche de bovino completa (A), porción micelar (B) e hidrosoluble (C). \* y \*\*\* entre los tratamientos de cada panel indican diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente).



**Figura 14.** Concentración de Mg en la leche completa, porción micelar e hidrosoluble obtenida durante cinco periodos de muestreo en vacas testigo (panel A) y con complementación mineral (panel B). + indica la media de la cantidad de Mg. Los valores expresados en porcentajes que se presentan sobre los corchetes invertidos indican la distribución de Mg entre las porciones micelar e hidrosoluble de la leche.



**Figura 15.** Concentración promedio ( $\pm$  EE) de Mg en leche de bovino completa (A), porción micelar (B) e hidrosoluble (C). \* y \*\*\* entre los tratamientos de cada panel Indican diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente).