



**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA,  
INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA  
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO, PRODUCCIÓN Y  
COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CABRAS ALPINA, NUBIA,  
SAANEN Y TOGGENBURG EN LACTANCIA TEMPRANA  
SUPLEMENTADAS CON MICROMINERALES ORGÁNICOS E  
INORGÁNICOS**

**TESIS  
QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

**PRESENTA:**

**José Luis Elorza Tejada**

**Bajo la supervisión de:  
Ignacio Tovar Luna, Ph. D.**



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES**

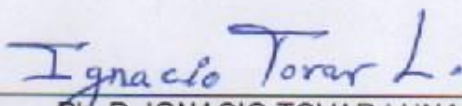


**Junio de 2018  
Chapingo, Estado de México.**

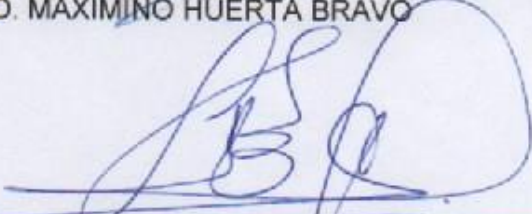
**EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO, PRODUCCIÓN Y  
COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CABRAS ALPINA, NUBIA, SAANEN Y  
TOGGENBURG EN LACTANCIA TEMPRANA SUPLEMENTADAS CON  
MICROMINERALES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS**

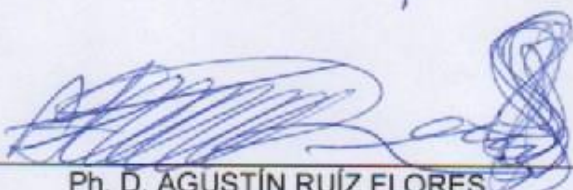
Tesis realizada por **José Luis Elorza Tejada** bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

DIRECTOR:   
Ph. D. IGNACIO TOVAR LUNA

CODIRECTOR:   
Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:   
Ph. D. RUFINO LÓPEZ ORDAZ

ASESOR:   
Ph. D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

## CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                                                          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE CUADROS .....                                                                                                                                                                                                   | V    |
| DEDICATORIAS .....                                                                                                                                                                                                       | VIII |
| AGRADECIMIENTOS .....                                                                                                                                                                                                    | IX   |
| DATOS BIOGRÁFICOS.....                                                                                                                                                                                                   | X    |
| 1 INTRODUCCIÓN GENERAL .....                                                                                                                                                                                             | 1    |
| 2 REVISIÓN DE LITERATURA.....                                                                                                                                                                                            | 3    |
| 2.1 Producción de leche de cabra en México .....                                                                                                                                                                         | 3    |
| 2.2 Importancia, funciones y desbalance de microminerales.....                                                                                                                                                           | 5    |
| 2.3 Interacciones entre minerales.....                                                                                                                                                                                   | 14   |
| 2.4 Requerimientos minerales para cabras en lactancia .....                                                                                                                                                              | 17   |
| 2.5 Composición química de la leche de cabra .....                                                                                                                                                                       | 21   |
| 2.6 Microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                                                                                          | 23   |
| 2.7 Comparación de respuesta a la suplementación con microminerales<br>orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                                      | 25   |
| 2.8 Literatura citada .....                                                                                                                                                                                              | 32   |
| 3 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO, PRODUCCIÓN Y<br>COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CABRAS ALPINA, NUBIA, SAANEN Y<br>TOGGENBURG EN LACTANCIA TEMPRANA SUPLEMENTADAS CON<br>MICROMINERALES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS..... | 37   |
| 3.1 Resumen .....                                                                                                                                                                                                        | 37   |
| 3.2 Abstract.....                                                                                                                                                                                                        | 38   |
| 3.3 Introducción .....                                                                                                                                                                                                   | 39   |
| 3.4 Materiales y Métodos.....                                                                                                                                                                                            | 41   |
| 3.4.1 Área experimental .....                                                                                                                                                                                            | 41   |

|       |                                                                              |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2 | Formación de grupos experimentales y prueba de alimentación en corrales..... | 41 |
| 3.4.3 | Prueba de digestibilidad <i>in vivo</i> .....                                | 43 |
| 3.4.4 | Manejo de los animales.....                                                  | 43 |
| 3.4.5 | Recolección de muestras y análisis .....                                     | 44 |
| 3.4.6 | Variables de respuesta y análisis estadístico .....                          | 44 |
| 3.5   | Resultados y discusión .....                                                 | 46 |
| 3.6   | Conclusiones .....                                                           | 75 |
| 3.7   | Literatura citada .....                                                      | 76 |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Producción de leche de cabra en México*.                                                                                                                                                                                   | 4  |
| Cuadro 2. Niveles deficientes, suficientes <sup>1</sup> y máximos tolerables <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> MS) de microminerales en cabras.                                                                                      | 13 |
| Cuadro 3. Requerimientos de microminerales (mg d <sup>-1</sup> ) para cabras en lactancia.                                                                                                                                           | 18 |
| Cuadro 4. Concentración mineral por cada 100 g <sup>-1</sup> de leche de cabra (promedio ± SD, y valores máximos y mínimos).                                                                                                         | 19 |
| Cuadro 5. Composición de la leche (%) de diferentes especies.                                                                                                                                                                        | 21 |
| Cuadro 6. Composición mineral (mg 100 g <sup>-1</sup> de leche) de leche de cabra y vaca.                                                                                                                                            | 21 |
| Cuadro 7. Composición química de la leche de cabra de diferentes razas y edades.                                                                                                                                                     | 22 |
| Cuadro 8. Ingredientes y composición química de la dieta ofrecida a cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia recibiendo microminerales orgánicos e inorgánicos.                                                        | 42 |
| Cuadro 9. Cantidad de microminerales orgánicos e inorgánicos usados en la suplementación de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana.                                                                         | 42 |
| Cuadro 10. Contenido micromineral (mg kg <sup>-1</sup> de MS) de los ingredientes y de la dieta ofrecida a cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. | 43 |
| Cuadro 11. Contenido mineral de la dieta experimental, requerimientos y consumo de microminerales por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicas e inorgánicas.      | 46 |
| Cuadro 12. Consumo de microminerales (mg día <sup>-1</sup> ) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.                                           | 47 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 13. Efectos y significancia de variables productivas medidas en cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....                                                                                                                 | 48 |
| Cuadro 14. Consumo voluntario de la materia seca y orgánica, y digestibilidad in vivo de la materia seca y orgánica, proteína cruda, y fibra detergente neutro en cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos en jaulas metabólicas..... | 51 |
| Cuadro 15. Consumo de materia seca ( $\text{g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                      | 55 |
| Cuadro 16. Consumo de materia seca ( $\text{kg } 100 \text{ kg}^{-1} \text{ de PV}$ ) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                               | 56 |
| Cuadro 17. Consumo de materia seca ( $\text{g kg}^{-1} \text{ de PV}^{0.75}$ ) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                      | 57 |
| Cuadro 18. Producción de leche ( $\text{g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                           | 60 |
| Cuadro 19. Contenido de grasa (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                                                        | 61 |
| Cuadro 20. Contenido de lactosa (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                                                      | 62 |
| Cuadro 21. Contenido de proteína (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.....                                                                                                                                     | 63 |

|                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 22. Contenido de sólidos no grasos (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....                            | 64 |
| Cuadro 23. Contenido de sólidos totales (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....                              | 65 |
| Cuadro 24. Conversión alimenticia (g de alimento $\text{kg}^{-1}$ de leche) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....         | 67 |
| Cuadro 25. Eficiencia alimenticia (g de leche $\text{kg}^{-1}$ de alimento) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....         | 68 |
| Cuadro 26. Conversión alimenticia (g de sólidos totales $100 \text{ g}^{-1}$ de MS) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. .... | 69 |
| Cuadro 27. Consumo de agua ( $\text{kg animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....             | 71 |
| Cuadro 28. Consumo de agua ( $\text{g g}^{-1}$ de CMS) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....                              | 72 |
| Cuadro 29. Consumo de agua ( $\text{g kg}^{-1}$ de PV) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....                              | 73 |
| Cuadro 30. Consumo de agua ( $\text{g g}^{-1}$ de leche producida) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos. ....                  | 74 |

## DEDICATORIAS

**A la vida** por enseñarme que la única condición de soñar es creer es esos sueños, por todas las personas que pone en mi camino y se vuelven especiales.

**A mis padres** por ser mi ejemplo a seguir, por la comprensión, confianza y amor que brindan a sus hijos.

Dedico este trabajo con mucho amor a quien complementa mi alma: **Mariela Sepúlveda García**, por ser la mejor persona con la que tengo la dicha de compartir mi vida, por ser una mujer extraordinaria que no se doblega con un solo problema, por ser valiente y sincera. Por apoyarme y buscar lo mejor para mí en todo momento, incluso antes que a su propia persona. Porque es un orgullo ser parte de su vida y en agradecimiento por todo el amor que brinda a los que ama y, sobre todo, por enseñarme a ser mejor persona y creer en mí, por el futuro que nos espera.

**A mi familia** por ser personas maravillosas, por confiar y poner sus ilusiones en mí.

José Luis Elorza Tejada

## AGRADECIMIENTOS

Al **CONACyT** por el financiamiento otorgado para la realización del presente estudio.

Al **Posgrado en Producción Animal** de la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y desarrollarme como profesionista.

Con especial admiración y aprecio, al **Dr. Ignacio Tovar Luna** por la dirección de este trabajo, por sus consejos, amistad, apoyo y enseñanzas durante mis estudios de licenciatura y maestría.

Al **Dr. Agustín Ruiz Flores, Dr. Rufino López Ordaz** y al **Dr. Maximino Huerta Bravo** por sus valiosas aportaciones y sugerencias en la revisión de la tesis, y amistad durante mi estancia en la maestría.

A **Mariela Sepúlveda García** por su ayuda en la escritura de este trabajo, a **Vicente Diaz, Olivia, Alma, Jennifer y Corina** por el apoyo brindado antes y durante el desarrollo del experimento, a la señora **Lourdes y Adriana Sepúlveda** por su apoyo y confianza durante el periodo experimental.

A mis amigos del alma **Pedro J. Hernández, Julio César Campos, Nancy Martínez, Gabriela Hernández, Susana Morales y Maleny Martínez**, por su amistad y apoyo, por ser personas maravillosas.

A **Blanca, Orlando, Magadán** y a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo, confianza y amistad durante mi estancia en maestría.

José Luis Elorza Tejada

## **DATOS BIOGRÁFICOS**



### **Datos personales**

Nombre: José Luis Elorza Tejada

Fecha de nacimiento: 25 de abril de 1993

Lugar de nacimiento: Cuyamecalco Villa de Zaragoza, Cuicatlán, Oax.

No. Cartilla militar: D-3430993

CURP: EOTL930425HOCLJS03

Profesión: Ingeniero en Sistemas Pecuarios

Cédula profesional: 9926907

### **Desarrollo académico**

Maestría en Ciencias: Posgrado en Producción Animal (2016-2017)

Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (2011-2015)

Universidad Autónoma Chapingo

Preparatoria: Preparatoria Agrícola (2008-2011)

Universidad Autónoma Chapingo

## 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La nutrición de los animales es el principal factor responsable de la producción de leche y representa más del 55% del costo total de producción (SAGARPA, 2012; FAO, 2017). La disminución de los costos de alimentación depende de las mejoras en la conversión de los nutrientes del alimento a leche (Linn, 2006) y del balance nutrimental de los animales, lo que afecta directamente la rentabilidad de la unidad de producción.

Los organismos vivos requieren macronutrientes como proteínas, lípidos y carbohidratos, además de vitaminas y microminerales. Los microminerales son elementos que desempeñan papeles importantes en el crecimiento y reproducción, actúan como antioxidantes para prevenir el estrés oxidativo; como cofactores de enzimas para mantener la inmunidad, y contribuyen en la salud y el bienestar de los animales mediante el mantenimiento adecuado de los mecanismos homeostáticos; desempeñan roles fundamentales en procesos digestivos, fisiológicos y biosintéticos (Andrieu, 2008; Yatoo et al., 2013). Estos elementos son requeridos en pequeñas cantidades (menos de 100 mg kg<sup>-1</sup> de MS, Yatoo et al., 2013) por ello es importante una ingesta y absorción adecuada. En rumiantes, los microminerales considerados esenciales son: cobre, zinc, selenio, yodo, cobalto, manganeso, molibdeno y hierro (NRC, 2007).

Los suplementos usados en la alimentación de rumiantes pueden dividirse en dos grupos: sales inorgánicas que incluyen un grupo sulfato u óxido, y orgánicos donde el mineral se encuentra ligado mediante un enlace covalente a una molécula orgánica que normalmente es uno o varios aminoácidos (Wagner et al., 2011). La suplementación con microminerales se ha basado en fuentes inorgánicas. Sin embargo, investigaciones recientes indican que los minerales traza ligados a compuestos orgánicos se absorben más fácilmente en el tracto digestivo y pueden ser biológicamente más disponibles (Bicalho et al., 2014; Hackbart et al., 2014) por tanto, esta fuente podría ser una opción para mantener o mejorar la producción (Cetz-Ucán, Cervantes-Tun, Sauri-Duch, Bores-Quintero & Castellanos-Ruelas, 2005; Kisidayová, Mihaliková, Siroka, Cobanová & Váradyová, 2014; Pino & Heinrichs, 2016).

Con cabras en ordeño es escasa la información científica donde se compare el impacto de fuentes orgánicas e inorgánicas de minerales en términos de comportamiento productivo. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento productivo de cuatro razas de cabras durante la lactancia temprana al ofrecerles en dieta microminerales de fuentes orgánicas e inorgánicas.

El Capítulo 2 es una revisión de literatura científica referente a la importancia de los microminerales, su función biológica, las características de acuerdo con la fuente, los requerimientos minerales para cabras en lactancia, y las interacciones entre minerales. Además, se presenta información de la respuesta a la suplementación con microminerales orgánicos e inorgánicos en especies de interés zootécnico. En el Capítulo 3 se presenta y discute información de eficiencia de utilización del alimento, producción y composición de la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Producción de leche de cabra en México**

De acuerdo con la FAO (2016), en 2010 a nivel mundial se produjeron 17,252 t de leche de cabra. India, Bangladesh, Pakistán y Francia aportaron 26.7, 14.5, 4.3 y 3.8% de ese volumen mundial, respectivamente y México aportó 0.9%.

El inventario caprino en México en 2017 fue de 8.7 millones de cabezas, que produjeron 161 t de leche, concentrada principalmente en Estados con extensas zonas áridas y semiáridas (Cuadro 1). De acuerdo con el SIAP (2017) en 2016 los principales estados productores fueron Coahuila, Guanajuato, Durango, Jalisco con una participación nacional de 28.0, 27.3, 15.9 y 4.8%, respectivamente, aproximadamente en medio millón de unidades de producción dando trabajo a 1.5 millones de personas (SIAP, 2017; INIFAP, 2013).

De la población caprina, 64% se concentra en los sistemas de producción extensiva, característicos de las zonas áridas y semiáridas, el 36% restante en la región templada (INIFAP, 2013). La producción de leche de cabra se lleva a cabo en sistemas intensivos, semi-intensivos y extensivos, siendo este último el de más importancia social (INIFAP, 2013) principalmente de las razas Alpina, Saanen y Nubia (Andrade, 2017).

Cuadro 1. Producción de leche de cabra en México\*.

| Estado              | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017<br>1/ | Ranking<br>2016 <sup>2/</sup> | Participación<br>2016 <sup>2/</sup> |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Aguascalientes      |        |        |        |        |            | 21°                           |                                     |
| Baja California     | 449    | 458    | 459    | 464    | 424        | 15°                           | N.S.                                |
| Baja California Sur | 2,940  | 2,901  | 3,562  | 3,731  | 3,408      | 11°                           | 1.8                                 |
| Campeche            | N.S.   | N.S.   | N.S.   | N.S.   | 27         | 22°                           |                                     |
| Coahuila            | 47,442 | 48,589 | 46,675 | 43,809 | 40,543     | 1°                            | 28                                  |
| Colima              | 2      | 2      | 2      | 2      | 2          | 20°                           |                                     |
| Chiapas             |        |        |        |        |            | 23°                           |                                     |
| Chihuahua           | 6,385  | 6,578  | 6,851  | 6,682  | 6,213      | 5°                            | 4.5                                 |
| CDMX                |        |        |        |        |            | 24°                           |                                     |
| Durango             | 25,346 | 25,358 | 23,187 | 26,453 | 23,811     | 3°                            | 15.9                                |
| Guanajuato          | 37,680 | 38,914 | 43,709 | 44,357 | 40,322     | 2°                            | 27.3                                |
| Guerrero            |        |        |        |        | 6          | 25°                           |                                     |
| Hidalgo             | 27     | 28     | 32     | 45     | 45         | 18°                           |                                     |
| Jalisco             | 6,667  | 7,078  | 7,903  | 8,058  | 7,593      | 4°                            | 4.8                                 |
| México              |        |        |        |        |            | 26°                           |                                     |
| Michoacán           | 3,709  | 3,796  | 3,752  | 3,967  | 3,467      | 9°                            | 2.5                                 |
| Morelos             |        |        |        |        |            | 27°                           |                                     |
| Nayarit             |        |        |        |        |            | 28°                           |                                     |
| Nuevo León          | 3,149  | 3,173  | 3,417  | 3,621  | 3,628      | 8°                            | 2.5                                 |
| Oaxaca              |        |        |        |        |            | 29°                           |                                     |
| Puebla              | 1,889  | 1,973  | 2,002  | 1,841  | 1,993      | 14°                           | 1.2                                 |
| Querétaro           | 1,434  | 1,622  | 1,786  | 1,809  | 1,916      | 13°                           | 1.3                                 |
| Quintana Roo        | 13     | 15     | 17     | 19     | 15         | 19°                           |                                     |
| San Luis            | 3,075  | 3,104  | 3,387  | 3,612  | 3,967      | 7°                            | 2.5                                 |
| Sinaloa             |        |        |        |        |            | 30°                           |                                     |
| Sonora              | 798    | 597    | 494    | 526    | 519        | 16°                           | N.S.                                |
| Tabasco             |        |        |        |        |            | 31°                           |                                     |
| Tamaulipas          | 92     | 102    | 116    | 126    | 128        | 17°                           | N.S.                                |
| Tlaxcala            | 3,535  | 3,337  | 3,681  | 3,126  | 2,360      | 10°                           | 1.9                                 |
| Veracruz            | 2,084  | 2,115  | 1,983  | 1,981  | 1,989      | 12°                           | 1.4                                 |
| Yucatán             |        |        |        |        |            | 32°                           |                                     |
| Zacatecas           | 5,616  | 5,781  | 5,871  | 6,007  | 5,772      | 6°                            | 3.8                                 |
| TOTAL NACIONAL      | 152,33 | 155,52 | 158,89 | 160,24 | 148,15     |                               | 100                                 |
| Región Lagunera     | 60,358 | 61,678 | 58,513 | 58,964 | 54,019     |                               | 36.8                                |

Fuente: SIAP, 2017.

\*= Las cifras presentadas son expresadas en toneladas<sup>1/</sup> = cifras preliminares a noviembre 2017, <sup>2/</sup> = con respecto al total nacional 2016, N.S = volumen no significativo.

## **2.2 Importancia, funciones y desbalance de microminerales**

Los minerales son sustancias inorgánicas, presentes en todos los tejidos y fluidos del cuerpo, su presencia es necesaria para el mantenimiento de los procesos fisiológicos esenciales para la vida (Soetan, Olaiya & Oyewole, 2010). A pesar de que no producen energía, juegan importantes roles en muchas actividades del cuerpo, desempeñan funciones vitales como: activar enzimas, mantener en balance el pH, controlar radicales libres a nivel celular e influir en el balance antioxidante/radical libre, proveer de rigidez a huesos y dientes, mantener las señales de la homeostasis metabólica asegurando así la eficiencia de crecimiento, reproducción, inmunocompetencia y salud del animal (Andrieu, 2008; NRC, 2005; Yatoo et al., 2013).

Los minerales pueden clasificarse ampliamente como macro o micro (trace) elementos y una tercera categoría, ultraoligoelementos (elementos que se requieren en menos de 1 mg día<sup>-1</sup>, no está probada su función, pero se han hallado en la sangre por lo que se cree que tienen funciones importantes) (Soetan et al., 2010). Los macrominerales incluyen calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na) y cloro (Cl), los cuales se requieren son requeridos en cantidades mayores a 100 mg kg<sup>-1</sup> MS. Entre los microminerales se encuentran cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), cobalto (Co), yodo (I), manganeso (Mn) y selenio (Se) (Soetan et al., 2010), los cuales son necesarios en pequeñas cantidades (usualmente menos que 100 mg kg<sup>-1</sup> MS) (Yatoo et al., 2013).

Dentro del organismo para mantener su función, los oligoelementos interactúan con biomoléculas. Por ejemplo, la hemoglobina y la fosfatasa alcalina que necesitan enlazar iones de Fe y Zn, respectivamente (Brugger & Windisch, 2015). Por tanto, bajo términos de deficiencia fisiológica de uno o más elementos traza aumentan los desequilibrios metabólicos, que favorecen el desarrollo de enfermedades patológicas de deficiencia (Brugger & Windisch, 2015).

De acuerdo con Suttle (2010) los minerales realizan cuatro tipos de funciones.

1. Estructurales: los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos del cuerpo, por ejemplo, Ca, P, Mg y silicio (Si) en huesos y dientes (NRC, 2005); y P y azufre (S) en las proteínas del músculo. El Zn y P

también pueden contribuir a la estabilidad estructural de las moléculas y membranas de las que forman parte.

2. Fisiológicas: los minerales se encuentran en fluidos y tejidos del cuerpo como electrolitos relacionados con el mantenimiento de la presión osmótica, el equilibrio ácido–base, la permeabilidad de la membrana y transmisión de impulsos nerviosos. El Na, K, Cl, Ca y Mg en la sangre, líquido cefalorraquídeo y jugo gástrico son ejemplos de tales funciones.

3. Catalíticas: los minerales pueden actuar como catalizadores en los sistemas endócrino y enzimático, como componentes integrales y específicos de la estructura de metaloenzimas y hormonas o como activadores (coenzimas) dentro de estos sistemas. Las actividades pueden ser anabólicas o catabólicas, mejorando (oxidante) o protegiendo la vida (antioxidante).

4. Reguladora: los minerales regulan la replicación y la diferenciación celular; por ejemplo, los iones de Ca influyen en la transducción de señales y la selenocisteína influye en la transcripción de genes.

Las funciones desempeñadas por los minerales únicamente pueden cumplirse si suficiente cantidad del mineral ingerido se absorbe y retiene para mantener el ritmo de crecimiento, desarrollo y reproducción, y para reemplazar los minerales que son perdidos, ya sea, en productos como leche o huevo, o durante el proceso de la vida (Suttle, 2010).

La deficiencia o exceso de oligoelementos causa estrés oxidativo, llevando a daños potenciales de tejidos, moléculas biológicas y membranas (Andrieu, 2008, Cuadro 2). A continuación se describe la importancia de los microminerales esenciales en la nutrición de rumiantes (Ali, Asatourian, Orangi, Sorenson & Sheibani, 2015; Maynard, Loosli, Hintz & Warner, 1986; NRC, 2007; McDonald, Edwards, Greenhalgh & Morgan, 2002; Suttle, 2010).

## **Hierro**

Funciones: principal constituyente del pigmento respiratorio hemoglobina, y de los catalizadores o enzimas oxidantes, fundamental para el funcionamiento de todos los órganos y tejidos del cuerpo. Realiza funciones importantes en muchas reacciones químicas, especialmente las relacionadas con las enzimas de la cadena de transporte de electrones (citocromos).

Deficiencia: la anemia resultante de la deficiencia de hierro se debe a la falta de la materia prima necesaria para la formación de hemoglobina. Otros efectos de la deficiencia son la disminución del apetito y de la tasa de crecimiento, la respiración se vuelve trabajosa y espasmódica. En la deficiencia de Fe están comprendidas otras deficiencias de minerales, como Cu y Co (Maynard et al., 1986).

Es muy probable que la anemia se presente en varias especies durante la lactancia ya que la leche es pobre en Cu y Fe. En algunas especies los neonatos tienen reservas elevadas de cobre y hierro con el propósito fundamental de respaldar sus necesidades de crecimiento durante el periodo de lactancia (Maynard et al., 1986).

Toxicidad. De acuerdo con Suttle (2010), la intoxicación por Fe no es normal en animales de interés zootécnico, si bien, puede presentarse por la administración oral prolongada del elemento. Los iones ferrosos generan radicales libres con oxígeno, lo que colabora en el estrés oxidativo de la célula. El exceso de Fe en la ración interfiere con la absorción de P por la formación de un fosfato insoluble, pudiendo aparecer raquitismo. El exceso también puede causar deficiencia de Cu en ovinos y cabras (Maynard et al., 1986).

## **Yodo**

Funciones: relacionado con la síntesis de hormonas de la tiroides, indispensable para la formación de tiroxina y triyodotironina, hormonas que aceleran las reacciones de la mayoría de los órganos y tejidos del organismo, incrementan el metabolismo basal, aceleran el ritmo de crecimiento y aumentan el consumo de oxígeno por el organismo como un todo. Así mismo, controlan el desarrollo del feto y participan en la defensa inmune, funciones musculares y estacionalidad de la reproducción (Maynard et al., 1986; McDonald et al., 2002).

Deficiencia: la manifestación clínica de la deficiencia de I es un agrandamiento de la glándula tiroides (Bocio endémico) por la reducción de tiroxina. Hembras reproductoras con deficiencias paren crías sin pelo, débiles o muertas; se retrasa el desarrollo del cerebro; se suprimen los celos o son irregulares, en

los machos la fertilidad es menor. Incrementa la susceptibilidad al estrés por frío y se reduce la producción de leche (NRC, 2007; Suttle, 2010).

Haenlein y Anke (2011) citan trabajos donde se evaluó el efecto de raciones deficientes (0.04, 0.06, y 0.11,  $\mu\text{g l kg}^{-1}$  de MS) y adecuados (0.40  $\mu\text{g l kg}^{-1}$  de MS) en la reproducción de cabras. Los resultados mostraron que, la eficiencia de la primera inseminación y la ganancia diaria de peso de sus cabritos se redujo significativamente ( $P < 0.05$ ) con respecto a los animales con niveles óptimos de I, mientras que la tasa de abortos y mortalidad de los cabritos, y la duración del periodo de gestación aumentaron.

Toxicidad: los síntomas visibles incluyen el bocio, lagrimeo y escurrimiento nasal excesivo, tos seca, escamosidad, caída de piel y pelo, dermatitis, dificultad al tragar, depresión del apetito, apariencia inactiva e indiferente. Los cambios clínicos incluyen una elevada tasa metabólica, aumento de la temperatura corporal, incremento de la frecuencia cardíaca, niveles elevados de glucosa y urea en sangre, e inmunodepresión (Maynard et al., 1986; McDonald et al., 2002).

### **Cobalto**

Funciones: permite a los microorganismos del rumen sintetizar la vitamina B<sub>12</sub>, activador enzima-sustrato (Maynard et al., 1986).

Deficiencia: McDonald et al. (2002) mencionan que los síntomas de deficiencia en bovinos y ovinos son semejantes a los que corresponden a un estado general de desnutrición. Los animales se hallan indiferentes, pierden apetito y peso, se muestran débiles y anémicos. El crecimiento de la lana se retarda y las fibras son muy débiles.

Maynard et al. (1986) mencionan que la vitamina B<sub>12</sub> es un factor antianémico y de crecimiento que depende de la presencia de Co para formar su molécula, y que dicha vitamina es un componente metabólico esencial para los rumiantes, pero no es necesaria su adición en el alimento debido a que los microorganismos existentes en el rumen la sintetizan en cantidades adecuadas, siempre y cuando se encuentre el cobalto presente. De lo anterior se desprende que el problema de deficiencia de Co, observado en rumiantes,

es en realidad una deficiencia de vitamina B<sub>12</sub>, ya que esta vitamina no se encuentra en los productos vegetales que constituyen el alimento.

Toxicidad: aunque el exceso de Co puede resultar tóxico, existe un amplio margen de seguridad entre las necesidades nutritivas y el nivel tóxico. La suplementación con cantidades excesivas puede originar la formación de análogos de la vitamina B<sub>12</sub> y una reducción en la cantidad de la vitamina verdadera. Al contrario del Cu, el Co no se retiene en los tejidos orgánicos, el exceso se excreta con rapidez (McDonald et al., 2002).

### **Cobre**

Funciones: es necesario junto con el Fe en la formación de hemoglobina. Influye en la actividad de muchas enzimas que desempeñan papeles clave en la respiración celular, transferencia de electrones, síntesis de melanina, formación de tejido conectivo, metabolismo del Fe y en la defensa contra radicales libres (Ali et al., 2015). Es importante para la formación normal de los huesos y su presencia es fundamental en la actividad osteoblástica, así como para la formación del colágeno y elastina necesaria para la pigmentación normal del pelo, piel y lana (McDonald, 2002).

Gao et al. (2007) demostraron que la suplementación de Cu aumenta el porcentaje de embriones que alcanzan la fase celular-8, así como la tasa de formación de mórula y blastocito, y disminución de la apoptosis. Ali et al. (2015) concuerdan con lo anterior, estos autores agregan que el Cu tiene funciones esenciales en el desarrollo normal del embrión y crecimiento de nuevos vasos sanguíneos.

Deficiencia: mayor susceptibilidad a infecciones microbianas y retraso del crecimiento. Se disminuye la absorción de Fe y se desarrolla una anemia microcítica. El animal presenta diarreas, pérdida de apetito, cojeras e inflamación de articulaciones, pérdida del color del pelo y de la lana, reducción del crecimiento de la lana, causa ataxia en corderos por el bajo contenido de este mineral en el cuerpo de la madre durante la preñez. La superficie de los huesos se adelgaza y éstos se pueden fracturar espontáneamente, ocurre por la disminución de la actividad de los osteoblastos y por la reducción de la

actividad de la lisil-oxidasa, lo que contribuye a la disminución de la fortaleza y estabilidad del colágeno (NRC, 2007).

Toxicidad: la ingestión prologada de Cu en cantidades superiores a las necesidades nutritivas determina la acumulación del elemento en tejidos, especialmente en hígado (McDonald, 2002). El envenenamiento crónico por este elemento determina la necrosis de las células hepáticas, ictericia, pérdida del apetito y muerte por coma hepático. La lenta acumulación de Cu en el hígado determina lesiones en este órgano sin síntomas aparentes. Se produce un vertido de enzimas de las células dañadas a la sangre. En ocasiones se produce una brusca liberación de Cu y hemólisis, que puede ocurrir espontáneamente o como resultado de factores estresantes como el parto o alguna infección (NRC, 2007).

## **Zinc**

Funciones: necesario para la maduración de ovocitos y el desarrollo embrionario, al igual que el Cu, participa en la enzima respiratoria anhidrasa carbónica, importante en la eliminación del CO<sub>2</sub>, es importante en la queratinización y calcificación (McDonald, 2002). Este elemento está involucrado en múltiples procesos productivos y reproductivos, crecimiento celular, producción de proteínas, equilibrio del sistema inmune y funcionamiento cerebral (Ali et al., 2015).

Hay más de dos mil factores de transcripción involucrados en la expresión génica, que requieren de Zn para el mantenimiento de su integridad estructural y unión al ADN. Por tanto, el Zn afecta los principales procesos metabólicos, así como la regulación del ciclo celular y división celular (Ali et al., 2015).

Deficiencia: provoca retardo del crecimiento, hipogonadismo e interfiere con el desarrollo del pelo, induce inflamación en la piel alrededor de la nariz y de la boca, rigidez de las articulaciones, alopecia, grietas en la piel alrededor de la pezuña, piel arrugada y escamosa en la parte trasera de las piernas, orejas y cuello con paraqueratosis. La cicatrización de las heridas se retrasa en animales deficientes. La salivación excesiva es un síntoma particular en

rumiantes y puede reflejar una combinación de abundante producción de saliva y dificultad para tragar (Suttle, 2010).

Toxicidad: la mayoría de los animales presentan gran tolerancia a este elemento (McDonald et al., 2002). Cantidades excesivas de Zn en las raciones reducen el consumo de alimento y puede provocar deficiencia de Cu.

### **Molibdeno**

Funciones: el papel nutricional del molibdeno en el crecimiento se explica con base en la acción estimulante de los microorganismos del rumen. Disminuye la absorción y toxicidad del exceso de Cu. Es importante por su rol en enzimas oxidasas (Maynard et al., 1986).

Deficiencia: reducción del consumo, crecimiento deficiente, deficiencia reproductiva y mortalidad. La pérdida del apetito puede ser causado por la ineficiente fermentación celulítica y puede reflejar la necesidad de Mo por los microorganismos del rumen (NRC, 2007).

Toxicidad: los síntomas físicos más notables consisten en diarrea extrema con la consiguiente pérdida de peso y baja en la producción. La alimentación con exceso de Mo trae como consecuencia la aparición de los síntomas clínicos característicos de la deficiencia de Cu ya que interfiere con su metabolismo (Maynard et al., 1986). La adición de Cu reestablece la normalidad de los animales afectados. Los cambios de los huesos que aparecen con deficiencias de Cu se pueden agravar si el contenido de Mo de la dieta es elevado.

El nivel tóxico del Mo en dietas depende de la especie, forma química del mineral, tipo de la dieta, concentración de azufre en la dieta, y el estatus de Cu en el animal (NRC, 2007). El exceso de Mo puede causar deficiencia condicionada de Cu (Maynard et al., 1986; Spears, 2013; Suttle, 1974).

### **Selenio**

Funciones: juega un papel muy importante en la inmunidad, reproducción y rendimiento de los animales por ser un elemento antioxidante. El Se es un componente de la enzima glutatión peroxidasa (GSHPx), que destruye

peróxidos dañinos en los tejidos del cuerpo y contribuye en los mecanismos de defensa celular (Haenlein & Anke, 2011).

Deficiencia: en rumiantes, conduce a la enfermedad del músculo blanco, y otros problemas menos específicos tales como debilidad de recién nacidos, aborto, miopatía y retención de placenta, con pérdidas económicas considerables (Haenlein & Anke, 2011).

Toxicidad: en casos crónicos, se pierde el pelo del cuello y de la cola, las pezuñas se desprenden, aparecen cojeras, y disminuye la ingesta de alimento y sobreviene la muerte por inanición (NRC, 2007).

Las tolerancias específicas de animales lactantes no han sido estudiadas, pero pueden ser más altas que los animales no lactantes porque la secreción de Se en la leche sirve como un "lavabo" para la eliminación de grandes cantidades de este elemento ingerido en formas orgánicas (Suttle, 2010).

### **Cromo**

Funciones: esencial para la utilización normal de la glucosa, participa en la síntesis de lípidos, en el metabolismo de proteínas y ácido nucleico (Maynard et al., 1986; McDonald et al., 2002).

Deficiencia: origina la disminución de la sensibilidad de los tejidos a la insulina, lesiones en las corneas, reducción del crecimiento, trastornos en el metabolismo proteico y reducción de la longevidad (Suttle, 2010; McDonald et al., 2002).

### **Manganeso**

Funciones: esencial para la actividad de la glucosil-transferasa, enzima que es necesaria para la síntesis de mucopolisacáridos y glucoproteínas, importantes en la formación del cartílago. El Mn juega un papel importante en el metabolismo del cuerpo como parte esencial de una variedad de enzimas que participan en la protección antioxidante, crecimiento del hueso y formación del cascarón del huevo, metabolismo de carbohidratos y lípidos, y funciones nerviosa, inmune y reproductiva (McDonald, 2002).

Deficiencia: reducción en la tasa de crecimiento, retraso en la madurez sexual, degeneración del epitelio germinal, ovulación irregular, reabsorción de fetos o

nacimiento de animales muy débiles, coagulación sanguínea defectuosa, ataxia y deformaciones del esqueleto. Los síntomas de deficiencia pueden variar dependiendo del grado y duración de privación, así como de la edad del animal (NRC, 2007).

La deficiencia de microminerales puede provocar varios desórdenes de etiología bioquímica, por tanto, es importante balancear las dietas con estos elementos para una óptima nutrición de pequeños rumiantes (Haenlein & Anke, 2011). Los signos de deficiencias pueden ser confusos, ya que las condiciones observadas pueden ser causadas por más de un mineral y pueden ser combinadas con los efectos de la deficiencia de proteína, varios tipos de parasitismo, plantas tóxicas y enfermedades infecciosas (McDowell y Arthington, 2005).

La adecuada nutrición de oligoelementos tiene una influencia significativa en la infertilidad, laminitis y la salud de la ubre en vacas lecheras. Estas condiciones tienen un impacto significativo en la rentabilidad de la empresa pecuaria, el costo reportado de la mastitis en hatos lecheros del Reino Unido varió de 293.5 para casos leves a 3,366.7 dólares en casos moderados, con 348.7 de promedio (Andrieu, 2008).

Cuadro 2. Niveles deficientes, suficientes<sup>1</sup> y máximos tolerables<sup>2</sup> (mg kg<sup>-1</sup> MS) de microminerales en cabras.

| Micromineral | Nivel deficiente en la ración | Nivel suficiente en la ración | Nivel máximo tolerable |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Cobalto      | -                             | 0.1                           | 25                     |
| Cobre        | 2.0                           | 8.0                           | 60                     |
| Cromo        | 0.3                           | 1.4                           | -                      |
| Hierro       | 35                            | 50                            | 500                    |
| Yodo         | 0.04                          | 0.04                          | 50                     |
| Manganeso    | -                             | 60.0                          | 2000                   |
| Molibdeno    | 0.024                         | 0.533                         | 5                      |
| Selenio      | 0.04                          | 0.56                          | 2-5                    |
| Zinc         | 50                            | 90                            | 300                    |

<sup>1</sup>Valores tomados de Haenlein & Anke, 2011; <sup>2</sup>Valores tomados del NRC, 2007.

El NRC (2005) menciona que a menudo los animales pueden servir como amortiguadores importantes de las altas concentraciones de minerales encontrados en algunas plantas o suplementos, reduciendo de esta manera la exposición humana a elementos potencialmente tóxicos. Sin embargo, los niveles de algunos minerales pueden acumularse en tejidos destinados al consumo humano cuya concentración afecta negativamente la salud humana, aun cuando los animales son expuestos a niveles seguros. Por tanto, las concentraciones de minerales en el alimento y agua de los animales destinados al consumo humano deben considerar la salud del consumidor y de los animales (NRC, 2005).

### **2.3 Interacciones entre minerales**

Existen muchas interrelaciones metabólicas y de absorción entre elementos minerales que contribuyen a las variaciones del grado de respuesta fisiológica a niveles deficientes o tóxicos, lo que dificulta determinar el nivel óptimo en la dieta para los distintos elementos necesarios para los seres humanos y animales domésticos (Soetan et al., 2010). Como resultado, al momento de la inclusión de los minerales debe considerarse el nivel de otros nutrientes esenciales.

Las deficiencias de algunos minerales pueden ocasionarse por alguna interacción con otro mineral y no porque no estén en los niveles adecuados. Las interacciones entre minerales se dividen en dos clases: interacciones positivas conocido como sinergismo e interacciones negativas o antagonismo.

Existen elementos antagonistas que pueden reaccionar con determinados minerales traza para formar complejos insolubles o complejos demasiado grandes para ser absorbidos, también existe la posibilidad de que pueda producirse interacciones antagónicas entre microminerales debido a la competencia de un transporte implicado en la absorción (Spears, 2013).

La producción animal se intensifica y las limitaciones ambientales aumentan, por ello la forma física y química de los minerales y las potenciales interacciones de minerales con otros alimentos debe considerarse en la formulación de la dieta (Faulkner, St-Pierre & Weiss, 2017). A continuación se

presentan las principales interacciones encontradas entre los elementos minerales:

**Azufre–cobre:** Spears (2013) menciona que el S, en niveles de 2 a 5 g kg<sup>-1</sup> en dietas de rumiantes pueden ser un antagonista importante del Cu, añade que en los últimos años los niveles de S en las dietas han ido incrementando debido al uso de granos secos de destilería y gluten de maíz, lo cual y de acuerdo con Suttle (1974) reduce la absorción de Cu debido a la formación de sulfuro de Cu insoluble en el intestino.

Cuando se incrementa el nivel de S en la dieta de 1 a 4 g kg<sup>-1</sup>, ya sea por fuentes inorgánicas (sulfato) u orgánicas (metionina), se reduce de 30 a 56% la biodisponibilidad del Cu en ovejas (Suttle, 1974).

**Molibdeno–azufre–cobre:** suplementar niveles de Mo por arriba de lo recomendado (100 µg kg<sup>-1</sup> MS), específicamente en cabras lactantes y especialmente en presencia de S puede conducir a la formación de complejos de tiomolibdatos en el rumen, lo que crea un fuerte enlace con el Cu provocando la disminución de Cu y deficiencia de este (Haenlein & Anke, 2011).

El tiomolibdato asociado con sólidos del rumen (bacterias, protozoos, y partículas de alimento) forman complejos insolubles con el Cu que no permiten su liberación incluso bajo condiciones ácidas (Allen & Gawthorne, 1987). Los tiomolibdatos absorbidos aumentan las pérdidas orgánicas de Cu almacenado en hígado, principalmente por bilis y secundariamente por orina.

En un experimento, Suttle (1975) observó que cuando las dietas eran bajas en S (0.10%) el Mo tiene poco o no afecta la biodisponibilidad del Cu; sin embargo, la adición de 0.30% de S y 4 mg de Mo kg<sup>-1</sup> en una dieta con 0.10% de S y 0.50 mg de Mo kg<sup>-1</sup>, la biodisponibilidad del Cu se redujo entre 40 y 70% en ovinos.

**Hierro–cobre.** Altas concentraciones de Fe en la dieta reducen las concentraciones de Cu hepático y plasmático (Soetan et al., 2010). Los henos y ensilados varían en contenido de Fe, pero pueden exceder 1000 mg kg<sup>-1</sup>, el uso de suplementos de fosfato aumenta considerablemente la cantidad de Fe

en la dieta, el ganado en pastoreo está expuesto a cantidades altas de Fe a través del forraje y consumo de tierra (Spears, 2013).

Se ha demostrado que el exceso de Fe en la dieta reduce la regulación del transportador 1 de metales divalentes (DMT1), la principal proteína de transporte involucrado en la absorción de cobre por células intestinales (Spears, 2013).

Altas cantidades de Fe en la dieta pueden no causar efectos adversos en el comportamiento productivo o salud del animal si este mineral presenta baja biodisponibilidad. En condiciones ácidas durante la fermentación de ensilados, incrementa la biodisponibilidad del Fe proveniente de la contaminación por suelo (Spears, 2013).

**Hierro–manganeso.** Existe un metabolismo antagonista mutuo entre el Mn y Fe. Altos niveles de Mn pueden interferir con el metabolismo y reducción del Fe en el corazón y plasma (NRC, 2007).

**Selenio–azufre.** Ledoux y Sannon (2005) y Suttle (2010) citan estudios en donde sugieren que puede haber interacciones antagonistas entre Se y S. Por ejemplo, encontraron que la adición de S en dietas bajas en Se de ovejas gestantes incrementa la incidencia de la enfermedad del músculo blanco en corderos. Al incrementar de 2.1 a 7.0 g de S kg<sup>-1</sup> de dieta existe una reducción lineal de Se en plasma y la absorción del mismo en vacas lactantes. Por otro lado, en ovejas la concentración de Se disminuyó en hígado cuando el S en la dieta aumentó de 2.2 a 4 g kg<sup>-1</sup>.

**Zinc–cobre.** El Zn actúa como antagonista del Cu induciendo la síntesis de metalotioneínas en las células del tracto intestinal. Estas proteínas son capaces de unir los iones de cobre con una afinidad muy alta y, por tanto, impedir la reabsorción de cobre en el torrente sanguíneo y ser excretados en las heces (Ali et al., 2015).

**Azufre–molibdeno.** Estos elementos interactúan en el rumen formando tetramolibdato en la fase sólida del bolo alimenticio. El tetramolibdato se enlaza al Cu y forma un complejo altamente insoluble que hace que el Cu no esté disponible para su absorción (Andrieu, 2008).

**Selenio–cobre.** Panev et al (2013) cuantificaron la concentración de Cu en sangre durante la suplementación de Se en ovejas, estos autores observaron que al administrar niveles adecuados de Se (1 mg de Se kg<sup>-1</sup> MS) los niveles de Cu se mantenían en 13.62±1.82 µmol L<sup>-1</sup>. Sin embargo, cuando el nivel de Se aumentó a 5 mg kg<sup>-1</sup> MS la concentración de Cu descendió a 11.81±1.13 µmol L<sup>-1</sup>. Lo anterior indica una posible interacción negativa entre el Cu y Se. La concentración de Se en suero sanguíneo está positivamente correlacionado con la absorción aparente del Cu (r = 0.56, P<0.001), Zn (r = 0.45, P<0.05), Mn (r = 0.66, P<0.001) y Co (r = 0.65, P<0.001) (Días et al., 2016).

Algunos mecanismos de interacciones no han sido determinados (por ejemplo, Se-S), pero se cree que entre elementos con propiedades físicas y químicas similares haya mayor probabilidad de interacciones competitivas.

#### **2.4 Requerimientos minerales para cabras en lactancia**

Una concentración inadecuada de minerales compromete el crecimiento del animal, reproducción y salud (NRC, 2005). Las exigencias o necesidades minerales en animales pueden ser divididas en dos grandes grupos; por una parte, las exigencias para mantenimiento (se refieren a las cantidades mínimas que deben ingerirse para mantener estables y en balance las funciones metabólicas basales, es decir, procesos para preservar la vida) y por otro lado las de producción o trabajo (Patiño, Da Silva & Pérez, 2011).

Los requerimientos de minerales para producción o trabajo están determinado por la capacidad productiva de la especie o raza; la tasa de producción permitida por otros componentes de la dieta, sobre todo, energía; contenido mineral en cada unidad de producción (leche, carne, lana) y el ambiente (Suttle, 2010).

Los requerimientos netos para la lactancia (Cuadro 3) son más fáciles de determinar que los requeridos para mantenimiento, crecimiento, y gestación. Debido a que pueden ser determinados directamente de la composición mineral de la leche (Cuadro 4) (Meschy, 2000).

Cuadro 3. Requerimientos de microminerales (mg d-1) para cabras en lactancia.

| Estado                                   | Peso vivo | Minerales |    |      |    |    |      |     |
|------------------------------------------|-----------|-----------|----|------|----|----|------|-----|
|                                          | kg        | Co        | Cu | I    | Fe | Mn | Se   | Zn  |
| Lactancia temprana (dos cabritos)        |           |           |    |      |    |    |      |     |
|                                          | 30        | 0.18      | 25 | 1.34 | 19 | 18 | 0.41 | 46  |
|                                          | 40        | 0.22      | 30 | 1.62 | 23 | 22 | 0.45 | 71  |
|                                          | 50        | 0.26      | 35 | 1.87 | 26 | 26 | 0.50 | 82  |
|                                          | 60        | 0.29      | 39 | 2.10 | 30 | 30 | 0.54 | 92  |
| Lactancia temprana (tres o más cabritos) |           |           |    |      |    |    |      |     |
|                                          | 40        | 0.25      | 35 | 1.85 | 30 | 27 | 0.57 | 38  |
|                                          | 50        | 0.28      | 38 | 2.02 | 34 | 31 | 0.63 | 109 |
|                                          | 60        | 0.31      | 42 | 2.26 | 39 | 36 | 0.68 | 123 |
| Lactancia tardía (dos cabritos)          |           |           |    |      |    |    |      |     |
|                                          | 30        | 0.12      | 17 | 0.88 | 19 | 14 | 0.8  | 35  |
|                                          | 40        | 0.15      | 20 | 1.08 | 22 | 18 | 0.31 | 42  |
|                                          | 50        | 0.17      | 24 | 1.26 | 26 | 21 | 0.33 | 49  |
|                                          | 60        | 0.20      | 27 | 1.43 | 29 | 25 | 0.35 | 55  |
| Lactancia tardía (tres o más cabritos)   |           |           |    |      |    |    |      |     |
|                                          | 40        | 0.17      | 23 | 1.22 | 30 | 21 | 0.37 | 55  |
|                                          | 50        | 0.20      | 27 | 1.43 | 35 | 25 | 0.41 | 64  |
|                                          | 60        | 0.22      | 30 | 1.61 | 39 | 28 | 0.44 | 71  |

Fuente: NRC, (2007).

La leche es un buen indicador del nivel de ciertos minerales para determinar deficiencias o toxicidades. Aunque la variabilidad individual puede ser muy alta y la contaminación externa proporciona problemas al momento de evaluar el estado mineral, la composición de la leche puede ser una herramienta adecuada para evaluar el estado nutricional de minerales traza en ovejas y cabras lecheras (Khan, Ashraf, Hussain & McDowell, 2006).

De acuerdo con Khan et al. (2006), la concentración de Ca, Mg, Na, K, Cu y Zn en leche de ovejas y cabras son afectadas significativamente por época del año (verano vs invierno,  $P<0.001$ ), especie animal ( $P<0.001$ ), y por la interacción de época  $\times$  especie ( $P<0.01$ ).

Cuadro 4. Concentración mineral por cada 100 g-1 de leche de cabra (promedio  $\pm$  SD, y valores máximos y mínimos).

| Mineral     | Herrera et al. (2006)              | Miedico et al. (2016)                         |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Na, g       | 0.05 $\pm$ 0.01<br>(0.03 – 0.09)   | 0.04 $\pm$ 0.001 <sup>1</sup><br>(0.03-0.06)  |
| K, g        | 0.12 $\pm$ 0.02<br>(0.08-0.18)     | - -<br>- -                                    |
| Ca, g       | 0.13 $\pm$ 0.02<br>(0.08-0.19)     | 0.08 $\pm$ 0.001 <sup>1</sup><br>(0.07-0.01)  |
| Mg, g       | (0.01 $\pm$ 0.003)<br>(0.01-0.02)  | 0.09 $\pm$ 0.0002 <sup>1</sup><br>(0.01-0.08) |
| Fe, $\mu$ g | 70 $\pm$ 18<br>(30-180)            | 0.085 $\pm$ 0.024<br>(49-122)                 |
| Cu, $\mu$ g | 18 $\pm$ 6<br>(6-33)               | 8 $\pm$ 5<br>(3-19)                           |
| Zn, $\mu$ g | 320 $\pm$ 104<br>(137-603)         | 350 $\pm$ 140<br>(88-580)                     |
| Se, $\mu$ g | 1.29 $\pm$ 0.43<br>(0.34-2.27)     | 1.33 $\pm$ 0.46<br>(0.86-2.50)                |
| Mo, $\mu$ g | - -<br>- -                         | 4.2 $\pm$ 4.8<br>(0.28-123)                   |
| Co, $\mu$ g | - -<br>- -                         | 0.26 $\pm$ 0.09<br>(0.13-0.42)                |
| Mn, $\mu$ g | 9 $\pm$ 1 <sup>1</sup><br>(8-0.11) | 7 $\pm$ 3<br>(4-12)                           |

Fuente: Herrera et al. (2006); Miedico, Tarallo, Pompa & Chiaravalle,(2016); <sup>1</sup>Valores tomados de Khan et al. (2006).

La leche de oveja presenta mayores concentraciones de Mg, K, Na, Co y Fe, mientras que en la de cabra son las de Ca, Cu, Mn y Zn (Khan et al., 2006). Por otro lado, Miedico et al. (2016) afirman que el contenido de Co, Se y Zn

son más altos en la leche de ovejas comparada con la de cabra, tal diferencia puede ser razonablemente explicada por las diferencias fisiológicas entre las especies. El requerimiento de Mo para cabras en crecimiento y lactantes fue calculado en  $100 \mu\text{g kg}^{-1}$  de MS (Haenlein & Anke, 2011).

Los valores usados para la producción deben ser suficiente para optimizar tanto la calidad como la cantidad de producto. La leche es excepcional en el sentido de que las concentraciones normales de minerales se mantienen durante las deficiencias (Suttle, 2010).

Suele presentarse problemas en la definición y reunión de requerimientos minerales para la reproducción y lactancia. La madre invariablemente siempre prioriza la producción de leche y cualquier déficit entre las necesidades diarias y los aportes en el alimento se satisface aprovechando reservas corporales (Suttle, 2010).

Cuando se utilizan tablas de requerimientos, los métodos y las conjeturas en que se basan las estimaciones deben comprobarse y los valores no deberían considerarse como absolutos debido a la incertidumbre que rodean las necesidades de minerales en contextos específicos (Suttle, 2010), y los factores químicos que determinan la biodisponibilidad de las fuentes minerales que incluyen la solubilidad en el tracto digestivo, su estado de valencia, y si el mineral se encuentra en forma orgánica, metálica u otra forma inorgánica (NRC, 2005).

La presencia de microminerales en el alimento es un factor que influye en el proceso de digestión, por ello, estos deben estar presentes en cantidades y proporciones adecuadas con el fin de mantener un proceso eficaz (Choong, Norli, Abdullah & Yhaya, 2016).

El proceso de digestión se afecta positivamente al realizar la suplementación con más de un mineral, debido al sinergismo entre estos. Choong et al. (2016) citan autores que confirman el sinergismo entre minerales y mencionan que la correcta combinación de minerales en la suplementación puede ser más benéfica.

Los requisitos de minerales pueden expresarse en varias formas: en cantidades  $\text{día}^{-1}$  o por unidad de producto, tales como leche, huevo o ganancia

de peso; en proporciones, como porcentaje, partes por millón (ppm), masa por masa (por ejemplo, mg kg<sup>-1</sup>) o moles (micro o milimoles) kg<sup>-1</sup> de MS de la dieta completa. Aunque la cantidad de minerales sea la más precisa, ésta puede variar con el consumo de alimento y por la eficiencia con que los componentes orgánicos en la dieta se utilizan (Suttle, 2010).

## 2.5 Composición química de la leche de cabra

La leche de cabra y oveja contienen elementos de importancia nutricional o toxicológica, y sus niveles pueden variar de acuerdo con factores intrínsecos (estado de lactancia, especie y raza animal, y estado de salud) y factores extrínsecos (época, alimentación, ambiente, frecuencia de ordeña, ordeña a fondo) (Miedico et al., 2016; Salvador & Martínez, 2007). En una revisión Salvador y Martínez (2007) presentan diferencias en la composición de la leche de cabra de acuerdo a la especie (Cuadros 5 y 6), raza y edad (Cuadro 7).

Cuadro 5. Composición de la leche (%) de diferentes especies.

| Componente      | Cabra | Oveja | Humano | Vaca |
|-----------------|-------|-------|--------|------|
| Sólidos totales | 13.2  | 19.3  | 12.5   | 11.7 |
| Grasa           | 4.4   | 7.0   | 4.4    | 3.4  |
| Lactosa         | 4.4   | 5.4   | 6.9    | 4.6  |
| Proteína        | 3.5   | 6.0   | 1.0    | 3.0  |
| Caseína         | 3.0   | 5.0   | 0.4    | 2.7  |
| Minerales       | 0.81  | 0.96  | 0.20   | 0.69 |

Fuente: Salvador & Martínez (2007).

Cuadro 6. Composición mineral (mg 100 g<sup>-1</sup> de leche) de leche de cabra y vaca.

| Mineral | Cabra  | Vaca   |
|---------|--------|--------|
| Ca      | 158.57 | 113.58 |
| P       | 118.97 | 87.04  |
| Mg      | 12.92  | 9.40   |
| Fe      | 0.15   | 0.09   |
| Cu      | 0.042  | 0.014  |
| Zn      | 0.528  | 0.463  |

Fuente: Salvador & Martínez (2007).

El interés por la leche de cabra es que constituye una leche industrial, especialmente para la fabricación de queso y dulces artesanales, por lo que las proteínas más importantes resultan ser las caseínas (proteínas coagulables) que determinan el rendimiento de fabricación y por tanto la calidad tecnológica de la leche en cuestión (Sanz-Sampelayo et al., 2003).

Cuadro 7. Composición química de la leche de cabra de diferentes razas y edades.

|                   | Alpina    | Nubia | Saanen | Toggenburg |
|-------------------|-----------|-------|--------|------------|
| Días en lactancia | 273       | -     | 278    | -          |
| Proteína (%)      | 3.14      | 3.66  | 3.01   | 3.01       |
| Grasa (%)         | 3.58      | 4.61  | 3.33   | 3.38       |
| Edad (años)       | Grasa (%) |       |        |            |
| 1                 | -         | 2.36  | 2.31   | 2.27       |
| 2                 | -         | 2.86  | 2.95   | 2.63       |
| 3                 | -         | 3.18  | 3.13   | 2.95       |
| 4                 | -         | 3.27  | 2.99   | 2.86       |
| +5                | -         | 2.86  | 2.45   | 2.40       |

Fuente: Salvador & Martínez, (2007).

El aumento de la frecuencia de ordeña y la ordeña a fondo en lactancia temprana estimula el desarrollo de la glándula mamaria e incrementa la proliferación de las células alveolares y por tanto el rendimiento lácteo (Salvador & Martínez, 2007).

Uno de los aspectos de la composición de la leche de la cabra más importantes es su contenido de triglicéridos de cadena media (MCT) y se caracterizan por la capacidad que tienen de ser absorbidos sin reesterificación, pasando directamente al sistema porta, transportados al hígado y a tejidos periféricos (Sanz-Sampelayo et al., 2003). Su bajo peso molecular e hidrosolubilidad, facilita la acción de las enzimas digestivas, haciendo que su hidrólisis sea más rápida y completa que la de los triglicéridos de cadena larga (Sanz-Sampelayo et al., 2003). Las características especiales a la composición de leche de cabra, radica en que la utilización nutricional de

estos es acentuadamente más alta que en el caso de la leche de vaca (Sanz et al., 2009).

En las últimas décadas la leche de cabra ha tomado importancia en la alimentación humana por la elevada digestibilidad de sus macronutrientes (grasa, proteína, minerales) y contenido de sustancias importantes como vitaminas (vitamina A y E) con potencial antioxidante, y ácidos grasos especialmente el linoleico conjugado con acción nutracéutica (anticancerígena y antiaterogénica) (Kondyli, Svarnas, Samelis & Katsiari, 2012).

## **2.6 Microminerales orgánicos e inorgánicos**

Los minerales traza orgánicos son complejos o quelatados con ligandos orgánicos (aminoácidos o polisacáridos). La *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO, 2000) define los diferentes tipos de minerales orgánicos. 1) Metal–proteinato, es el producto resultante de la quelatación de una sal soluble con un aminoácido y/o una proteína parcialmente hidrolizada; 2) complejo metal-polisacárido, es el producto resultante de la asociación de una sal soluble con una solución de polisacáridos; 3) quelato metal-aminoácido, es el producto resultante de la reacción de un ion metálico de una sal soluble con aminoácidos mediante enlaces covalentes.

En su revisión, Miles y Henry (2000) presentan una lista de los beneficios reportados sobre los microminerales orgánicos. La estructura de anillo protege al mineral de las reacciones no deseadas en el tracto gastrointestinal (Ledoux & Shannon, 2005) y pasan fácilmente a través de la pared intestinal hacia el torrente sanguíneo sin que haya interacciones entre minerales o con otros nutrimentos de la dieta; los quelatos se absorben por diferentes rutas a diferencia de los inorgánicos, y cada mineral en el quelato facilita la absorción de otros minerales; los quelatos transportan carga negativa por lo que se absorben y metabolizan más eficientemente; la quelatación aumenta la absorción pasiva por el incremento de la solubilidad del mineral en agua y lípidos, e incrementa la estabilidad en pH bajos, además pueden ser absorbidos por el sistema de transporte de aminoácidos.

Una de las características importantes consideradas para la función fisiológica de quelatados es el grado de los ligandos orgánicos de permanecer unidos al metal bajo condiciones de pH fisiológico (Cao et al., 2000). Disminuyendo la disociación de los metales en el rumen se limita el posible antagonismo con otros nutrimentos del alimento y puede incrementarse la biodisponibilidad (Faulkner et al., 2017).

La suplementación de microminerales inorgánicos ha sido efectiva en la corrección o prevención de deficiencias en el ganado, sin embargo, en presencia de ciertos antagonistas, la biodisponibilidad puede ser baja. En términos de minerales traza, la biodisponibilidad puede definirse como la proporción de un mineral ingerido que es absorbido, transportado a su sitio de acción, y convertido a la forma fisiológicamente activa (Ledoux & Shannon, 2005).

La especie animal, genotipo, edad, sexo, estado nutricional y fisiológico, estrés, microbiota intestinal, interacciones entre minerales y entre minerales y otros nutrientes, forma química y solubilidad del elemento mineral (Hackbart et al., 2014; Ledoux & Shannon, 2005; Miles & Henry, 2000; Suttle, 2010), así como variables fisiológicas y la naturaleza intrínseca de la dieta (Freeland-Gaves, Sanjeevi & Lee, 2015) influyen en la digestión, absorción y utilización de los microminerales.

Inicialmente, las dietas se suplementaban con minerales traza inorgánicos, en años recientes la utilización de fuentes orgánicas ha aumentado considerablemente. En teoría, los enlaces covalentes formados entre el metal y el ligando deberían permitir a los minerales orgánicos resistir las interacciones encontradas con los inorgánicos.

Sin embargo, aún existen controversias entre autores que afirman que no hay diferencias en cuanto a eficiencia biológica entre fuentes minerales (Cao et al., 2000; Guo et al., 2011; Panev et al., 2013, Páleníková et al., 2014), y los que defienden que los minerales traza de fuentes orgánicas presentan mejores beneficios productivos y de salud debido a su mayor biodisponibilidad (Andriu, 2008; Cetz-Ucán et al., 2005; Ledoux & Shannon, 2005, Pérez-Hernández, 2014).

Pino y Heinrichs (2016) compararon dos fuentes de minerales traza (en forma de propionatos y levaduras, y sulfatos), y encontraron que el pH del rumen fue menor en vaquillas recibiendo dietas con elementos orgánicos (una hora después de ser alimentadas), lo anterior debido a la alta producción de ácidos grasos volátiles, principalmente de butirato. Los autores concluyeron que el comportamiento de las variables anteriores se debió a la alta biodisponibilidad de los microminerales orgánicos en los procesos metabólicos, debido a que son más similares a la forma natural de presentación en el cuerpo (complejos orgánicos en lugar de iones libres).

## **2.7 Comparación de respuesta a la suplementación con microminerales orgánicos e inorgánicos**

Suplementar las dietas con mezclas de microminerales es una práctica común en la industria pecuaria desde que se asumió que las dietas no siempre contienen las cantidades adecuadas de minerales para satisfacer los requerimientos, o que los minerales de los ingredientes usados en la formulación no presentan una forma biológicamente disponible para los animales (Ledoux & Shannon, 2005).

Minerales como I, Zn, Cu, Mn, y Co juegan un papel muy importante en muchos procesos biológicos, incluyendo la reproducción, por tanto, suplementar a las vacas lecheras con minerales traza orgánicos puede mejorar este proceso en particular (Hackbart et al., 2014). La importancia del equilibrio antioxidante–pro-oxidante puede alterarse por el consumo de dietas subóptimas o pobres en nutrientes, y pueden restaurarse por la suplementación de la dieta (Andrieu, 2008).

La suplementación mineral se puede justificar por los siguientes argumentos: proteger la salud de los animales (Gong et al., 2014), proteger y/o mejorar la salud del consumidor final (Kisidayová et al., 2014), proteger el medio (Cetz–Ucán et al., 2005) y mejorar la productividad (Hackbart et al., 2014; Nocek, Sosa & Tomlinson, 2006).

A continuación se citan autores que han comparado la disponibilidad de los microminerales orgánicos e inorgánicos en diferentes especies, evaluando

diversas variables (estado inmune, composición química y producción de la leche, digestibilidad, eficiencia alimenticia).

### **Salud del animal**

En una revisión publicada por Andrieu (2008) se citan autores que han reportado efectos benéficos del Zn orgánico al sustituir 50% de este mineral por fuentes orgánicas en la tasa de infecciones intramamarias. Aunque no hubo diferencias en cuanto al conteo de células somáticas (SCC) ni en la producción de leche (PL), las infecciones se redujeron significativamente en 50% ( $P < 0.03$ ) en el grupo con Zn orgánico comparado con los animales suplementados con óxido de zinc. Respecto a los resultados hallados, Andrieu (2008) menciona que la mayoría de las infecciones fueron causadas por patógenos ambientales, y que la suplementación con Zn orgánico puede tener mayor resistencia a las bacterias que causan mastitis, debido a la mejora de la integridad de la piel y la queratina del revestimiento del canal del pezón.

El papel de las inmunoglobulinas o anticuerpos en los mecanismos naturales de defensa es la opsonización de la bacteria patógena, y ayudar a los neutrófilos y macrófagos en la fagocitosis. Gong et al. (2014) evaluaron el efecto de la inclusión de levadura de Se vs selenito de sodio. Los resultados no difirieron ( $P > 0.10$ ) entre las fuentes del mineral para consumo de materia seca (CMS), PL, composición, contenido de grasa y proteína en leche; sin embargo, la concentración de Se en sangre y leche se afectó. La levadura de selenio incrementó significativamente las concentraciones de Se en sangre y leche comparada con la suplementación inorgánica ( $P < 0.05$ ), incrementaron también las concentraciones de inmunoglobulina A (IgA) e interleucina-1 que juegan un rol importante en la regulación de la respuesta inmune e inflamatoria. Los autores concluyeron que la levadura de Se es más eficiente que el selenito de sodio en la mejora del estatus antioxidante de la vaca lechera.

La inclusión adecuada de Se, Mn, Cu y Zn en las dietas del ganado lechero es importante para optimizar la salud de las vacas lactantes y en periparto, ya que protegen a la vaca de los efectos adversos de las inflamaciones agudas causadas por los agentes patógenos de la mastitis dando como resultado

mejoras en la salud de la ubre y reducción de SCC (Andrieu, 2008). Lo anterior de acuerdo con Bicalho et al. (2014), quienes observaron en vacas Holstein suplementadas mediante una inyección de microminerales (300 mg Zn, 50 mg Mn, 25 mg Se, y 75 mg Cu) en los días 230 y 260 de gestación, un aumento en la concentración de estos minerales en sangre ( $P<0.05$ ), mejora en el estatus inmune de los animales, y reduce los casos clínicos de metritis, endometritis y retención de placenta.

### **Salud del consumidor**

La leche de cabra y oveja está asumiendo un papel cada vez más importante en la dieta humana debido a la alta disponibilidad de sus nutrientes, contenido de sustancias con potencial antioxidante, y ácido linoleico conjugado con acción nutracéutica (Kondyli et al., 2012), su consumo regular es recomendado especialmente para niños, y madres lactantes (Miedico et al., 2016). Para mantener las propiedades químicas de esta leche y el nivel diario de producción es necesario que los animales reciban cantidades y proporciones adecuadas de microminerales (Bach et al., 2015).

El metabolismo de ácidos grasos en el rumen influye la composición de la leche y carne de rumiantes, también es bien sabido que los ciliados del rumen contribuyen en la concentración de algunos ácidos grasos importantes de cadena larga, específicamente ácido trans-vacénico y ácido linoleico conjugado, importantes en la dieta humana por sus propiedades anti-ateroscleróticas y anticarcinogénicas (Calvo et al., 2014).

En un estudio desarrollado por Kisidayová et al. (2014) se evaluaron los efectos de la suplementación de Se orgánico e inorgánico en la composición de los ácidos grasos y contenido ruminal en ovejas, los resultados mostraron que la suplementación con selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) aumentó la concentración de ácido linoleico conjugado en el contenido total del rumen en comparación con la levadura de Se (Ose,  $P<0.05$ ), aumentó el contenido de ácido linoleico en la fracción de protozoarios ciliados cuando la suplementación fue con OSe en comparación con el testigo ( $P<0.01$ ) y con  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  ( $P<0.05$ ), no hubo diferencias en el contenido de ácido trans-vacénico entre las dos fuentes minerales.

El ácido trans-vacénico presente en el rumen es un precursor importante para la síntesis de isómeros de ácido linoleico conjugado en los tejidos de ovejas, especialmente Cis9, Trans 11-C<sub>18:2</sub> (Kisidayová et al., 2014).

### **Cuidado del medio ambiente**

Los minerales traza son componentes esenciales en la dieta del ganado. Sin embargo, también presentan un importante potencial tóxico. Por tanto, sus flujos a través de organismo están estrechamente regulados por una compleja maquinaria molecular que controla la tasa de absorción desde el lumen intestinal, así como la cantidad de excreción vía heces, orina y productos (por ejemplo, leche) con el fin de mantener un equilibrio interno. Cuando se supera la dosis necesaria, los oligoelementos se acumulan en orina y heces, y esto representa una amenaza potencial para el medio (Brugger & Windisch, 2015).

El uso, en ocasiones, indiscriminado de minerales en nutrición animal, de la mano con la intensificación y el aumento del tamaño de las explotaciones, ha ocasionado que países como los de la Unión Europea controlen su uso con el objetivo de limitar el impacto en el ambiente. La concentración de algunos minerales en las excretas es mayor que la de los consumidos en el alimento, y esta relación aumenta por los altos niveles en la dieta (NRC, 2005).

En general todos los metales tienen un poder contaminante potencial. En algunas situaciones, el uso de excretas como fertilizantes hace que se acumulen grandes cantidades de minerales en el agua y suelo, haciendo que los rendimientos de los cultivos disminuyan y se contamine el ambiente (NRC, 2005). Aunque normalmente los vegetales pueden tolerar niveles altos de estos elementos, las plantas suelen acumularlos y causar daños a animales y humanos tras su ingesta (Fernández, 2014). El NRC (2005) identificó diez minerales que podrían ser problemáticos debido a su efecto potencial en los campos de cultivo o el ambiente: cadmio (Cd), Co, Fe, mercurio (Hg), P, K, Na, Se, S y Zn.

Cetz-Ucán et al. (2005) suplementaron ovinos con Co, Cu, y Zn orgánicos (quelatos) e inorgánicos (carbonato de Co, Sulfato de Cu y sulfato de Zn) y determinaron el porcentaje de digestibilidad aparente de estos elementos. Los resultados mostraron que, los microminerales en forma de quelatos presentan

menor excreción ( $P<0.05$ ) con relación a aquellos en forma inorgánica, con excepción del Co donde no se presentó diferencia significativa entre ambos tratamientos. Esto se traduce en menor contaminación ambiental.

Días et al. (2016) encontraron que el consumo residual de alimento (RFI) influye sobre la absorción de microminerales, estos autores evaluaron la absorción aparente de macro y microminerales en vaquillas gestantes con diferentes valores de RFI [Altos (ineficientes) RFI ( $\text{RFI}>0.2 \text{ kg de MS d}^{-1}$ ) vs bajos RFI ( $\text{RFI}<-0.2 \text{ kg de MS d}^{-1}$ )]. Los análisis no mostraron diferencias ( $P>0.10$ ) entre grupos de animales en la absorción de Fe, Mo y Se; sin embargo, la absorción de Cu, Zn y Mn fue mayor en vaquillas con valores bajos de RFI ( $P<0.05$ ).

Por otro lado, Pino y Heinrichs (2016) realizaron un estudio cuyo resultado mostró que en vaquillas, el consumo de microminerales inorgánicos (Cu, Mn, y Se) (ITM) fue mayor que los orgánicos (OTM) ( $P<0.05$ ), pero la concentración de estos en sangre no fue diferente entre tratamientos. Lo que sugiere que la absorción de OTM es mayor comparado con la de los ITM, y, por tanto, los OTM pueden usarse como parte de una estrategia simple para reducir la excreción de microminerales y contaminación del medio. Los microminerales con el impacto potencial más importante en el ambiente son Cu y Zn (Fernández, 2014).

### **Productividad**

Hackbart et al. (2014) evaluaron el comportamiento productivo de vacas lactantes suplementadas con Zn, Mn, Cu y Cu orgánicos vs inorgánicos, desde 40 días antes hasta 30 días después del parto. Estos autores señalan que la producción de leche en la mitad de la lactancia aumentó ( $P<0.05$ ) en los animales recibiendo minerales orgánicos, no hubo diferencias para contenido de proteína, pero si para grasa. Los resultados anteriores son acordes con los obtenidos por Nocek et al. (2006).

Hackbart et al. (2014) no hallaron respuestas significativas ( $P>0.05$ ) al evaluar problemas de salud de animales recibiendo las diferentes fuentes de minerales traza. Lo mismo fue hallado por Bach, Pinto y Blanch (2015), quienes suplementaron vacas Holstein por seis meses, el primer tratamiento

fue la suplementación con microminerales inorgánicos y en el segundo se sustituyeron parcialmente (50%) los minerales inorgánicos por quelatados. Los resultados mostraron que la producción de leche y la proporción de vacas con problemas de laminitis no fueron afectadas por el tratamiento ( $P>0.05$ ), debido a que la suplementación por sí sola no fue suficiente para solucionar la prevalencia de los problemas podales. Estos autores no observaron efectos del Cu, Zn, Mn, y Co de fuentes orgánicas en la calidad embrionaria o concentración lútea de microminerales en vacas lecheras, aunque la producción de leche incrementó significativamente después del parto ( $P<0.05$ ).

Kinal et al. (2007) suplementaron vacas lecheras desde seis semanas antes del parto hasta el final de la lactancia. El grupo control consumió Zn, Cu y Mn en forma de sulfatos, en el segundo grupo se sustituyó 50% de los sulfatos por fuentes orgánicas, y el tercer grupo, fue suplementado con minerales en su totalidad orgánicos. Las vacas que recibieron 100% de los minerales de fuentes orgánicas (600 y 400 mg día<sup>-1</sup> de Zn y Mn, respectivamente, y 120 mg día<sup>-1</sup> de Cu) tuvieron significativamente mayor producción de leche durante los primeros tres meses de lactancia comparado con el grupo testigo ( $P<0.05$ ), también se observó un descenso de 34% en SCC, 319,000, 255,000, y 212,000 células mL<sup>-1</sup> para el grupo testigo, tratamiento con 50% de minerales orgánicos, y el tratamiento con 100% de minerales orgánicos, respectivamente.

La suplementación mineral incrementa los niveles de minerales en tejidos, sangre y leche (Brugger & Windisch, 2015; Suttle, 2010). Corderos de ovejas que consumieron microminerales orgánicos (MO) presentaron mejor ganancia diaria de peso que aquellos cuyas madres fueron suplementadas con microminerales inorgánicos (MIN), lo anterior puede atribuirse a un mayor consumo de nutrientes y posiblemente a un mejor balance mineral en la leche de ovejas con MO (Tovar-Luna, Enríquez-Tómas, Santana-Rodríguez & Jaimes-Jaimes, 2015).

Pino y Heinrichs (2016) hallaron que la eficiencia alimenticia de vaquillas consumiendo microminerales inorgánicos (ITM) y orgánicos (OTM) fue 10.03 y 10.75 kg de MS kg<sup>-1</sup> GDP, respectivamente ( $P>0.05$ ). El consumo de MS

para ITM y OTM fue 8.34 y 8.28 kg MS kg<sup>-1</sup> PV<sup>0.75</sup>, sin diferencias significativas entre tratamientos ( $P>0.05$ ). Similarmente, la fuente mineral no afectó la digestibilidad aparente de la MS, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) o almidón. El tiempo que usaron las vaquillas para consumir la dieta fue menor para OTM sugiriendo una mejor palatabilidad.

Estudios sugieren que reemplazando la totalidad o una porción de microminerales inorgánicos por orgánicos es viable y sin duda ayudaría a abordar problemas de costo. El fundamento de este enfoque es que si fuentes orgánicas están más disponibles, entonces los efectos benéficos de los altos niveles de óxidos y sulfatos podrían alcanzarse con concentraciones menores provenientes de fuentes orgánicas (Ledoux & Shannon, 2005, Pino & Heinrichs, 2016).

Con respecto a los estudios donde no se han observado diferencias entre fuente de minerales por los periodos relativamente cortos de evaluación, Hackbart et al. (2014) mencionan que, es posible que la suplementación con microminerales orgánicos requiera un tiempo antes de que los efectos biológicos se observen. Lo anterior, también fue observado Nocek et al. (2006), quienes suplementaron vacas lecheras con microminerales orgánicos e inorgánicos (Zn, Mn, Cu, y Co) durante dos lactancias, y observaron un incremento en la producción de leche en la segunda respecto a la primera, en animales que recibieron elementos orgánicos.

## 2.8 Literatura citada

- AAFCO. (2000). Official publication. Association of American Feed Control Officials. Atlanta, G. A.
- Ali, S., M., Asatourian, A., Orangi, J., Sorenson, C. M., & Sheibani, N. (2015). Functional role of inorganic trace elements in angiogenesis - Part II: Cr, Si, Zn, Cu, and S. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 96, 143-155.
- Allen, J. D., & Gawthorne, J. M. (1987). Involvement of the soil phase of rumen digesta in the interaction between copper, molybdenum and sulphur in sheep. *British Journal of Nutrition*, 58, 265-276.
- Andrade-Montemayor, H. M. (2017). Producción de caprino en México. In VIII Foro Nacional del Caprino. Pp. 24-27.
- Andrieu, S. (2008). Is there a role for organic trace element supplements in transition cow heath? *The Veterinary Journal*, 176, 77-83, doi: 10.1016/j.tvjl.2007.12.022.
- Bach, A., Pinto, A., & Blanch, M. (2015). Association between chelated trace mineral supplementation and milk yield, reproductive performance, and lameness in dairy cattle. *Livestock Science*, 82, 69-75, doi: 10.1016/j.livsci.2015.10.023.
- Bicalho, M. L. S., Lima, F. S., Ganda, E. K., Foditsch, C., Meira, E. B. S., Machado, V. S., Teixeira, A. G. V., Oikonomou, G., Gilbert, R. O., & Bicalho, R. C. (2014). Effect of trace mineral supplementation on selected minerals, energy metabolites, oxidative stress, and immune parameters and its association with uterine diseases in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 97, 4281-4295.
- Brugger, D., & Windisch, W. M. (2015). Environmental responsibilities of livestock feeding using trace mineral supplements. *Animal Nutrition*, 1, 113-118.
- Calvo, M. V., Castro-Gómez, M. P., García-Serrano, A., Rodríguez-Alcalá, L.M., Juárez I., M., & Foncheta A., J. (2014). Grasa láctea: una fuente natural de compuestos bioactivos. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 21, 57-63.
- Cao, J., Henry, P. R., Guo, R., Holwerda, R. A., Toth, J. P., Littells, R. C. & Ammerman, C. B. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *Journal of Animal Science*, 78, 2039-2054.
- Cetz-Ucán, F. H., Cervantes-Tun, J. L., Sauri-Duch, E., Bores-Quintero, R. A., & Castellanos-Ruelas, A. F. (2005). Effect of chelated microminerals in ruminant nutrition. *Livestock Research for Rural Development*. Disponible en <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd17/9/cetz17097.htm>. Consultada el 10 de junio de 2017.
- Choong, Y. Y., Norli, I., Abdullah, A. Z., & Yhaya, M. F. (2016). Impacts of trace element supplementation on the performance of anaerobic digestion process: a critical review. *Bioresource Technology*, 209, 36-379, doi: 10.1016/j.biortech.2016.03.028.

- Días, R. S., Montanholi, Y. R., López, S., Smith, B., Miller, S. P., & France, J. (2016). Utilization of macrominerals and trace elements in pregnant heifers with distinct feed efficiencies. *Journal of Dairy Science*, 99, 5413-5421, doi: 10.3168/jds.2015-10796.
- FAO. (2016). Global livestock production and health atlas. Disponible en <http://www.fao.org/statistics/databases/es/>. Consultada el 6 de diciembre de 2017.
- FAO. (2017). Producción pecuaria en América Latina y el Caribe. Disponible en <http://www.fao.org/americas/perspectivas/produccion-pecuaria/es/>. Consultada el 20 de abril de 2017.
- Faulkner, M. J., St-Pierre, N. R., & Weiss, W. P. (2017). Effect of source of trace minerals in either forage – or by-product – based diets fed to dairy cows: 2. Apparent absorption and retention of minerals. *Journal of Dairy Science*, 100, 5368 – 5377, doi: 10.3168/jds.2016-12096.
- Fernández O., A. (2014). Los microminerales en la nutrición animal. Disponible en: <https://agrinews.es/2014/02/18/los-minerales-traza-en-la-nutricion-animal/>. Consultada el 9 de junio de 2017.
- Freeland – Graves, J. H., Sanjeevi, N., & Lee, J. J. (2015). Global perspectives on trace element requirements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31, 135-141, doi: 10.1016/j.jtemb.2014.04.006.
- Gao, G., Yi, J., Zhang M., Xiong, J., Geng, L., Mu, C., & Yang, L. (2007). Effects of iron and copper in culture medium on bovine oocyte maturation, preimplantation embryo development, and apoptosis of blastocysts *in vitro*. *Journal of Reproduction and Development*, 53, 777-784.
- Gong, J., Ni, L., Wang, D., Shi, B., & Yan, S. (2014). Effect of dietary organic selenium on milk selenium concentration and antioxidant and immune status in midlactation dairy cows. *Livestock Science*, 170, 84-90.
- Guo, R., Henry, P. R., Olwerda, R. A., Cao, J., Littell, R. C., Miles, R. D., & Ammerman, C. B. (2011). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. *Journal of Animal Science*, 79, 1132-1141.
- Hackbart, K. S., Ferreira, R. M., Dietshe, A. A., Socha, M. T., Shaver, R. D., Wiltbank, M. C., & Fricke, P. M. (2014). Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 88, 3856-387, doi: 10.2527/jas.2010-3055.
- Haenlein, G. F. W., & Anke, M. (2011). Mineral and trace element research in goats: a review. *Small Ruminant Research*, 95, 2-19, doi: 10.1016/j.smallrumres.2010.11.007.
- Herrera G., M. I., Peláez P., P., Fresno B., M., Rodríguez R., E., Darías M., J., & Díaz R., C. (2006). Mineral and trace element concentrations of dairy products from goats' milk produced in Tenerife (Canary Islands).

*International Dairy Journal*, 16, 182-185, doi: 10.1016/j.idairyj.2005.01.011.

- INIFAP. (2013). Reporte anual 2012: Ciencia y tecnología para la seguridad alimentaria y la prosperidad del campo mexicano. Disponible en <https://www.biblioteca.inifap.gob.mx>. Consultada el 3 de diciembre de 2017.
- Khan, Z. I., Ashraf, M., Hussain, A., McDowell L. R., & Ashraf, M. Y. (2006). Concentrations of minerals in milk of sheep and goats grazing similar pastures in a semiarid region of Pakistan. *Small Ruminant Research*, 65, 274-278.
- Kinal, S., Korniewicz, D., Jamroz, D., Korniewicz, A., Slupczynska, M., Bodarski, R., & Dymarski, I. (2007). The effectiveness of zinc, copper and manganese applied in organic forms in diets of high milk yielding cows. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 5, 189-193.
- Kisidayová, S., Mihaliková, K., Siroka, P., Cobanová, K., & Váradyová, Z. (2014). Effects of inorganic and organic selenium on the fatty acid composition of rumen contents of sheep and the rumen bacteria and ciliated protozoa. *Animal Feed Science and Technology*, 193, 51-57.
- Kondyli, E., Svarnas, C., Samelis, J., & Katsiari, M. C. (2012). Chemical composition and microbiological quality of ewe and goat milk of native Greek breeds. *Small Ruminant Research*, 103, 194-199, doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.09.043.
- Ledoux, D. R., & Shannon, M. C. (2005). Bioavailability and antagonists of trace minerals in ruminant metabolism. *In: Ruminant Nutrition Symposium*. Florida, USA. Pp: 23-37.
- Linn, J. (2006). Feed efficiency: its economic impact in lactating dairy cows. Disponible en: <http://www.wcds.ca/proc/2006/Manuscripts/Linn.pdf>. Consultada el 05 de mayo de 2016.
- Maynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., & Warner, R. G. (1986). Nutrición animal. 7ª ed. Mc Graw-Hill. México, D. F.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (2002). Nutrición animal. 6ª ed. Zaragoza, España. Acribia, S. A.
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. (2005). Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 4a Edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. U.S.A.
- Meschy, F. (2000). Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livestock Production Science*, 64, 9 – 14.
- Miedico, O., Tarallo, M., Pompa, C., & Chiaravalle, A. E. (2016). Trace elements in sheep and goat milk samples from Apulia and Basilicata regions (Italy): valuation by multivariate data analysis. *Small Ruminant Research*, 135, 60-65, doi: 10.1016/j.smallrumres.2015.12.019.
- Miles, R. D., & Henry, P. R. (2000). Relative trace mineral bioavailability. Department of Animal Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.

- Miret, S., Simpson, R. J., & McKie, A. T. (2003). Physiology and molecular biology of dietary iron absorption. *Annual Review of Nutrition*, 23, 283-301, doi: 10.1146/annurev.nutr.23.011702.073139.
- Nocek, J. E., Socha, M. T., & Tomlinson, D. J. (2006). The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89, 2679-2693.
- Nollet, L., van der Klis, J. D., Lensing, M., & Spring, P. (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 592 – 597, doi: 10.3382/japr.2006-00115.
- NRC. (2005). Mineral tolerance of animals. 2nd revised edition. The National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academic Press. Washington, D.C.
- Páleníková, I., Hauptmanová, K., Pitropovská, E., Páleník, T., Husáková, T., Pechová, A., & Pavlata, L. (2014). Copper metabolism in goat-kid relationship at supplementation of inorganic and organic forms of copper. *Czech Journal of Animal Science*, 59, 201-207.
- Panev, A., Hauptmanová, K., Pavlata, L., Pechová, A., Filípek, J., & Dvorák, R. (2013). Effect of supplementation of various selenium forms and doses and selected parameters of ruminal fluid and blood in sheep. *Czech Journal of Animal Science*, 58, 37-46.
- Patiño P., R., Da Silva F., C. J., & Pérez P., J. 2011. Modelos de predicción de exigencias minerales para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 3, 344-365.
- Pérez-Hernández, G. (2014). Complementación de Se, Cu y Zn orgánicos por inorgánicos en el parto y producción de leche de vacas Holstein-Friesian. (Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.).
- Pino, F., & Heinrichs, A. J. (2016). Effect of trace minerals and starch on digestibility and rumen fermentation in diets for dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99, 2797-2810, doi: 10.3168/jds.2015-10034.
- SAGARPA. (2012). Programa nacional pecuario. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Programa%20Nacional%20Pecuario/Attachments/1/PNP260907.pdf>. Consultada el 20 de abril de 2017.
- Salvador, A., & Matínez, G. (2007). Factors that affect yield and composition of goat milk: a bibliographic review. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 48, 61-76.
- Sanz C., L., Ramos M., E., de la Torre A., G., Díaz C., J., Pérez M., L., & Sanz S., M. R. (2009). Composition of goat and cow milk produced under similar and analyzed by identical methodology. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 322-329, doi:10.1016/j.jfca.2008.10.020.

- Sanz-Sampelayo, M. R., Fernández, J. R., de la Torre, G., Ramos, E., Carmona, F. D., & Boza, J. (2003). Calidad de la leche de los pequeños rumiantes. In XXII Jornadas Científicas sobre Alimentación "La Seguridad y calidad de los alimentos". Granada, España. Pp: 155-166.
- SIAP. (2017). Producción ganadera. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/>. Consultada el 15 de diciembre de 2017.
- Soetan, K. O., Olaiya, C. O., & Oyewole, O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*, 4, 200-222.
- Spears, J. W. (2013). Advancements in ruminant trace mineral nutrition. In: Cornell Nutrition Conference. 22-24 October. East Syracuse, NY, USA.
- Suttle, N. F. (1974). Effects of organic and inorganic sulphur on the availability of dietary copper to sheep. *British Journal of Nutrition*, 32, 559-568.
- Suttle, N. F. (1975). The role of organic sulphur in the copper-molibdenum-S interrelationship in ruminant nutrition. *British Journal of Nutrition*, 34, 411-420.
- Suttle, N. F. (2010). Mineral nutrition of livestock. 4th Ed. CABI Publishing. London, United Kingdom. 579 p.
- Tovar-Luna, I., Enríquez-Tómas, E., Santana-Rodríguez, M. L., & Jaimes-Jaimes, J. (2015). Comportamiento de ovejas lactantes suplementadas con minerales orgánicos y ganancia de peso de sus corderos. In Memoria de la XLIII Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C. Montecillo, Méx., 20-30 de octubre 2015. Pp 112-115.
- Wagner, E. L., Potter, G. D., Gibbs, P. G., Eller, E. M., Scott, B. D., Vogelsang, M. M., & Walzem, R. L. (2011). Copper and zinc balance in exercising horses fed 2 forms of mineral supplements. *Journal of Animal Science*, 89, 722-728.
- Yatoo, M. I. M., Saxena, A., Deepa, P. M., Habeab, B. P., Devi, S., Jatav, R. S., & Dimri, U. (2013). Role of trace elements in animals: a review. *Veterinary World*, 6, 963-967.

### **3 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO, PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CABRAS ALPINA, NUBIA, SAANEN Y TOGGENBURG EN LACTANCIA TEMPRANA SUPLEMENTADAS CON MICROMINERALES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS**

#### **3.1 Resumen**

El objetivo fue evaluar el efecto de microminerales de fuentes orgánicas (OR) e inorgánicas (IN) en el consumo de materia seca (CMS) y orgánica (CMO), digestibilidad de la materia seca (DMS) y orgánica (DMO), proteína cruda (DPC) y fibra detergente neutro (DFND), producción (PL) y composición de la leche (grasa, lactosa, proteína y sólidos no grasos y totales), eficiencia de utilización del alimento (FE) y consumo de agua (Cag) de cabras lecheras. Se utilizaron 48 cabras (4 razas,  $51 \pm 8.2$  kg PV) con  $3035 \pm 832$  g de leche animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y  $25 \pm 7$  días en leche, al inicio del estudio. Las cabras se alojaron en corrales individuales. Las cabras se estratificaron por raza y PL, y fueron asignadas aleatoriamente a uno de tres tratamientos (1. Dieta testigo (T), 2. T+IN, y 3. T+OR). La prueba en corral duró 7 semanas; posteriormente, las cabras estuvieron en jaulas metabólicas por 11 días para determinar la digestibilidad de las dietas. El diseño fue bloques al azar con arreglo factorial de tratamientos con mediciones repetidas. La fuente mineral no afectó significativamente ( $P > 0.05$ ) el CMS ( $5.1$  kg  $100$  kg<sup>-1</sup> PV;  $136$  g kg<sup>-1</sup> PV<sup>0.75</sup>), PL ( $3347$ ,  $3033$  y  $3165$  g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), contenido de grasa ( $4.6\%$ ), lactosa ( $3.6\%$ ), proteína ( $2.6\%$ ), sólidos no grasos ( $6.9\%$ ), sólidos totales ( $11.4\%$ ), y el Cag ( $10.1$  kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>,  $199$  g kg<sup>-1</sup> PV,  $3.3$  g g<sup>-1</sup> de leche) y la FE fue  $802$ ,  $857$  y  $882$  g MS kg<sup>-1</sup> PL. Los resultados indican que cabras en lactancia de razas Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg recibiendo OR e IN muestran similar comportamiento productivo medido como CMS y Cag, producción y composición de la leche y FE. Independientemente de la raza, las DMS y DMO, DPC y DFND mejoran en cabras en lactancia recibiendo microminerales en la dieta, sin diferencia entre fuentes.

Palabras clave: cabras lecheras, microminerales, consumo de materia seca, consumo de agua, digestibilidad, eficiencia.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: José Luis Elorza Tejada

Director: Ignacio Tovar Luna, Ph. D.

### 3.2 Abstract

The objective was to study the effect of organic (OR) and inorganic (IN) microminerals fed to dairy goats on dry matter and organic intake (DMI, OMI), digestibility of DM and OM (DDM, DOM), neutral detergent fiber (DNDF), protein (DCP), milk yield (MY) and milk composition (fat, lactose, protein, solids non-fat and total solids), efficiency of feed utilization (FE) and water intake (WI). Forty-eight lactating goats were used (4 breeds, body weight (BW)  $51 \pm 8.2$  kg, milk yield  $3035 \pm 832$  g day<sup>-1</sup> and  $25 \pm 7$  days in milk). Does were in individual pens. Does were stratified by breed and milk yield and randomly assigned to one of three treatments (1. Basal diet (T), 2. T+IN, and 3. T+OR). Pen feeding period lasted seven weeks; then, does were placed in metabolic cages for additional 11 days to measure nutrient digestibilities. The experimental design was random blocks with factorial arrangement of treatments with repeated measures. The mineral source did not affect ( $P > 0.05$ ) DMI ( $5.1$  kg  $100$  kg<sup>-1</sup> BW;  $136$  g kg<sup>-1</sup> BW<sup>0.75</sup>), MY ( $3347$ ,  $3033$  and  $3165$  g animal<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>), fat ( $4.6\%$ ), lactose ( $3.6\%$ ), protein ( $2.6\%$ ), non-fat solids ( $6.9\%$ ), total solids ( $11.4\%$ ), and WI ( $10.1$  kg animal<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>,  $199$  g kg<sup>-1</sup> BW,  $3.3$  g g<sup>-1</sup> of milk). The FE was  $802$ ,  $857$  and  $882$  g DM kg<sup>-1</sup> MY. Results of this study indicate that lactating goats of breeds Alpine, Nubia, Saanen and Toggenburg receiving OR and IN had a similar performance in terms of DMI and WI, MY and milk composition, and FE. Independently of the breed, the DDM and DOM, DCP and DNDF improve in lactating goats receiving microminerals in the diet, without difference between sources.

Key words: dairy goats, microminerals, dry matter intake, water intake, digestibility, efficiency.

Thesis of Master in Science in Livestock Innovation, Postgraduate in Animal Production, Autonumus University Chapingo.

Author: José Luis Elorza Tejada

Thesis Director: Ignacio Tovar Luna, Ph. D.

### **3.3 Introducción**

En México, el inventario caprino es 8.7 millones de cabezas que producen 160 t de leche anualmente (SIAP, 2016) principalmente a partir de razas como la Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg (Andrade-Montemayor, 2017; Jiménez et al., 2013). De acuerdo con Rodríguez, Cravedro y Alonso (2008) se espera un importante incremento nacional y mundial en la demanda de la leche de cabra debido a la necesidad del mercado de consumir lácteos hipoalergénicos y de elevada digestibilidad.

Para aumentar la producción de leche, las cabras deben recibir cantidades y proporciones adecuadas de microminerales, evitando excesos y deficiencias, ya que estos elementos son determinantes para mantener niveles diarios de producción y composición de la leche, y de la salud de los animales al influir en la integridad de las membranas y función inmune (Bach, Pinto & Blanch, 2015; Haenlein & Ramirez, 2007; Yatoo et al., 2013). El aporte en dieta de microminerales pueden utilizarse fuentes orgánicas o inorgánicas. Las fuentes orgánicas son complejos o quelatados con ligandos orgánicos (aminoácidos, proteínas o polisacáridos) y las inorgánicas son óxidos y sulfatos.

En las fuentes orgánicas disminuye la disociación de metales, lo que evita interacciones antagónicas con otros nutrimentos presentes en el rumen e incrementa la biodisponibilidad de los minerales (Faulkner, St-Pierre & Weiss, 2017). Por tanto, las fuentes orgánicas podrían ser una opción para mantener o mejorar la producción con niveles de inclusión menores a fuentes inorgánicas (Cetz-Ucán, Cervantes-Duch, Bores-Quintero & Castellanos-Ruelas, 2005; Pino & Heinrichs, 2016). Sin embargo, las fuentes orgánicas no siempre han demostrado ser superiores a las inorgánicas en ovinos (Tovar-Luna, Enríquez-Tómas, Santana-Rodríguez & Jaimes-Jaimes, 2015), bovinos para carne o para leche (Hackbart et al., 2014; Gong, Ni, Wang, Shi & Yan, 2014).

Con cabras en ordeño es escasa la información científica donde se compare el impacto de fuentes orgánicas e inorgánicas de minerales en términos de comportamiento productivo. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue analizar el comportamiento productivo de cabras Alpina, Nubia, Saanen y

Toggenburg en ordeño al ofrecerles microminerales de fuentes orgánicas e inorgánicas en la dieta para generar información que permita definir estrategias de suplementación.

### **3.4 Materiales y Métodos**

#### **3.4.1 Área experimental**

El experimento se desarrolló de diciembre de 2016 a mayo de 2017, en las instalaciones del módulo caprino de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, ubicada en Bermejillo, Durango, en las coordenadas geográficas 25° 53'32'' N y 103° 36'11'' O, a 1117 m de altitud.

De acuerdo con la UNAM (2004), el clima es semiárido con lluvias en verano cuya clasificación es BW<sub>w</sub>. La temperatura media anual es 20.8°C, mínima promedio en invierno de 3.9°C y máxima promedio en verano de 36.1°C, la precipitación oscila de 200 a 250 mm, la máxima precipitación ocurre entre agosto y septiembre (CONAGUA, 2016).

#### **3.4.2 Formación de grupos experimentales y prueba de alimentación en corrales**

Cuarenta y ocho cabras de las razas (12 animales por raza) Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg de 1 a 4 partos, fueron utilizadas. La evaluación en corrales comenzó en la última semana de diciembre de 2016. Después de 25±7días de registro de producción de leche (PL) las cabras fueron bloqueadas por PL, raza y número de partos, y asignadas a uno de tres tratamientos: 1) dieta testigo (T) (Cuadros 8 y 10), 2) T+1.5 g de premezcla de microminerales inorgánicos animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (IN) (Cuadro 9), y 3) T+3 g de premezcla de microminerales orgánicos animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (OR) (Cuadro 9). Los microminerales utilizados en la suplementación aportaron aproximadamente 100% más de los requerimientos establecidos por el NRC (2007) para cabras en lactancia temprana. Cada tratamiento tuvo 16 animales, cuatro de cada raza.

El 50% de la suplementación diaria se ofreció antes de cada comida. Para asegurar el consumo total de los microminerales, estos fueron ofrecidos en una mezcla de aproximadamente 50 g de salvado de trigo y melaza.

Los animales que recibieron OR se suplementaron con un producto comercial (BOVI 8 WAYS, BIOTECAP S. A. de C. V, México) que proporcionó por cada kg de mezcla, 300 mg de Se y Cr (metal metionina); 10000, 5000, 10000 y 10000 mg de Zn, Cu, Mn y Fe, respectivamente (metal di-lisina); 200 ppm de

I y Co (metal péptido), células de levadura viva ( $3.0 \times 10^9$  UFC g<sup>-1</sup>), y vitamina E (50 UI kg<sup>-1</sup>). Los minerales inorgánicos fueron suministrados en una mezcla de selenito de Na, sulfato de Cu, Sulfato ferroso, sulfato de Mn, sulfato de Zn, carbonato de Co y yoduro de etilen diamino dihidratado, la cual suministró 600, 10006, 20013, 20013, 20013, 800 y 400 mg kg<sup>-1</sup> de Se, Cu, Fe, Mn, Zn, Co y I, respectivamente (NUPLEN COMERCIALIZADORA S. A. de C. V., Gómez Palacio, Dgo.).

Cuadro 8. Ingredientes y composición química de la dieta ofrecida a cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia recibiendo microminerales orgánicos e inorgánicos.

| Ingrediente                 | Contenido, %<br>BMS | Composición<br>química        | Contenido |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------|
| Heno de alfalfa             | 40                  | MS (%)                        | 96.6      |
| Heno de avena               | 10                  | MO (% MS)                     | 89.6      |
| Salvado de trigo            | 15                  | PC (% MS)                     | 14.3      |
| Maíz roado                  | 25                  | DIP (% MS)                    | 10.4      |
| Soy-70® <sup>1</sup>        | 1                   | UIP (% MS)                    | 3.9       |
| Megalac <sup>2</sup>        | 1                   | FDN (% MS)                    | 50.4      |
| Melaza                      | 4                   | FDA (% MS)                    | 21.6      |
| Macrominerales <sup>3</sup> | 0.5                 | EM (Mcal kg <sup>-1</sup> MS) | 2.57      |
| Vitaminas <sup>4</sup>      | 0.5                 | ED (Mcal kg <sup>-1</sup> MS) | 2.93      |
| Bicarbonato de sodio        | 1                   |                               |           |
| Sal común                   | 2                   |                               |           |

BMS = base materia seca; MS = materia seca a 105°C; DIP = proteína degradable en rumen; UIP = proteína bypass; <sup>1</sup>= pasta de soya tratada con calor (MS = 88.6%, PC = 52.5%, FDN = 10.1%, FDA = 5.9%, UIP = 73%); <sup>2</sup>= grasa de sobrepaso; <sup>3</sup>= composición de la premezcla (%): P (14.0), Ca (7.0), Mg (0.52) y S (1.2); <sup>4</sup>= composición de la premezcla (UI Kg<sup>-1</sup>): A (3700000), D3 (1400000) y E (17500).

Cuadro 9. Cantidad de microminerales orgánicos e inorgánicos usados en la suplementación de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana.

| Fuente mineral | Se   | Cr   | Zn   | Cu   | Mn   | Fe   | I    | Co   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Orgánica       | 0.90 | 0.90 | 30.0 | 15.0 | 30.0 | 30.0 | 0.60 | 0.60 |
| Inorgánica     | 0.90 | -    | 30.0 | 15.0 | 30.0 | 30.0 | 0.60 | 1.20 |

Cuadro 10. Contenido micromineral (mg kg<sup>-1</sup> de MS) de los ingredientes y de la dieta ofrecida a cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

| Ingrediente               | Se                | Cr                | Zn                | Cu                | Mn               | Fe               | I                 | Co                |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Heno de alfalfa           | 0.37 <sup>8</sup> | 0.52 <sup>9</sup> | 22 <sup>6</sup>   | 12 <sup>6</sup>   | 43 <sup>1</sup>  | 300 <sup>6</sup> | 0.19 <sup>2</sup> | 0.10 <sup>1</sup> |
| Avena                     | 0.19 <sup>7</sup> | 0.30 <sup>3</sup> | 41 <sup>1</sup>   | 7.0 <sup>3</sup>  | 42 <sup>1</sup>  | 200 <sup>3</sup> | 0.11 <sup>3</sup> | 0.06 <sup>1</sup> |
| Salvado de trigo          | 0.45 <sup>8</sup> | 0.04 <sup>9</sup> | 90 <sup>3</sup>   | 13.8 <sup>3</sup> | 130 <sup>8</sup> | 128 <sup>3</sup> | 0.07 <sup>3</sup> | 1.1 <sup>8</sup>  |
| Maíz rolado               | 0.43 <sup>5</sup> | 0.03 <sup>9</sup> | 12.1 <sup>6</sup> | 4.6 <sup>6</sup>  | 6.6 <sup>8</sup> | 100 <sup>6</sup> | 0.09 <sup>2</sup> | 0.1 <sup>8</sup>  |
| Soy-70® <sup>1</sup>      | 0.11 <sup>5</sup> | 0.21 <sup>9</sup> | 61 <sup>3</sup>   | 22 <sup>3</sup>   | 41 <sup>3</sup>  | 148 <sup>3</sup> | 0.12 <sup>2</sup> | 0.07 <sup>3</sup> |
| Melaza                    | 0.45 <sup>8</sup> | 0.20 <sup>3</sup> | 19 <sup>1</sup>   | 15 <sup>1</sup>   | 20 <sup>1</sup>  | 180 <sup>1</sup> | 2.1 <sup>3</sup>  | 1.2 <sup>1</sup>  |
| Aporte dieta <sup>Z</sup> | 0.36              | 0.26              | 30.8              | 9.5               | 43.8             | 193              | 0.21              | 0.28              |

<sup>Z</sup>= Calculados a partir del nivel de inclusión de cada ingrediente en la dieta (Cuadro 8); <sup>1</sup>= Blackwood, (2007); <sup>2</sup>= Borucki et al. (2011); <sup>3</sup>=FEDNA, (2016); <sup>4</sup>=Fordyce, (2003); <sup>5</sup>= Hahn, Kuennen, Caruso & Fricke, (1981); <sup>6</sup>= Hall et al. (2013); <sup>7</sup>= Lorenz, (1978); <sup>8</sup>= NAS, NRC & NCAN, (1964); <sup>9</sup>= Spears, Lloyd & Krafka, (2017).

### 3.4.3 Prueba de digestibilidad *in vivo*

La prueba de digestibilidad comenzó después de concluir la evaluación en corrales, cuando las cabras tenían en promedio 80±6 días en lactancia. Todos los animales del periodo en corrales, con excepción de los que presentaron problemas podales se subieron a jaulas metabólicas para continuar la segunda fase de estudio. La prueba de digestibilidad se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Cochran y Gaylean (1994). Esta fase duró 11 días, durante los cuales la suplementación mineral se realizó de la misma manera que en la fase de corral.

### 3.4.4 Manejo de los animales

Tres días después del parto las cabras se separaron de los cabritos, se colocaron en corrales individuales de 1.25 × 2 m con sombra, y se inició la ordeña. Durante las dos evaluaciones la ordeña se realizó manualmente a las 05:30 y 15:00 h. En ambos periodos las cabras recibieron el 5% de alimento adicional de lo consumido el día anterior. El alimento se ofreció dos veces día<sup>-1</sup>, recibiendo 50% del alimento total diario a las 7:00 h y el resto a las 15:00 h. La dieta ofrecida (Cuadro 8) contenía una relación forraje: concentrado de 50:50 y se formuló con base al valor nutritivo de los ingredientes indicados en las tablas del NRC (2007).

### **3.4.5 Recolección de muestras y análisis**

A partir del sexto día de evaluación de la digestibilidad y durante seis días, el total de heces y orina de cada animal se pesó, se tomaron muestras de aproximadamente 10% y se mantuvieron a -20°C hasta su análisis (Cochran & Gaylean, 1994). El total de alimento rechazado del día seis al 11 se colectó.

A partir de la suplementación mineral, se inició la toma diaria de muestras de alimento rechazado y cada semana de ofrecido. Las muestras de alimento ofrecido se mezclaron para formar mezclas compuestas y para el rechazo muestras compuestas por animal en cada periodo. Del total de alimento rechazado por cada animal y de las muestras de alimento ofrecido de la fase en corral y en jaulas metabólicas, una vez bien mezclado, dos submuestras de alrededor de 500 g se deshidrataron.

Submuestras de alimento ofrecido, alimento rechazado (ambos periodos) y de heces se deshidrataron en una estufa de aire forzado (Felisa® TE-H80DM, TERLAB, Guadalajara, Jal, Méx.) a 55°C por 48 h para determinar % de materia seca parcial (MSP), posteriormente se molieron en un molino Thomas-Wiley (Arthur H. Thomas Company, Philadelphia, U.S.A.) usando una criba de 1 mm. El porcentaje de materia seca total (MS), cenizas (Cen) y materia orgánica (MO) fueron determinados en las muestras (Galyean, 1997; Zaklouta, Hilali, Nefzaoui & Haylani, 2011).

En las muestras de alimento rechazado y de heces del segundo periodo de evaluación se determinó el porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) (Van-Soest, 2015) y proteína cruda (PC) (método Kjeldahl, %). En las muestras de alimento ofrecido se realizaron los análisis anteriormente mencionados y adicionalmente fibra detergente ácido (FDA) (Van-Soest, 2015).

### **3.4.6 Variables de respuesta y análisis estadístico**

La cantidad de alimento ofrecido y rechazado se registró diariamente, y por diferencia se calculó el consumo de MS ( $\text{g de MS d}^{-1}$ ), mediante sus respectivos porcentajes de MS. El consumo de agua se estimó como el promedio diario por semana, para ello se registró la cantidad ofrecida diariamente y el agua rechazada dos veces por semana.

Las cabras se pesaron en ayuno antes y después del parto (kg), y una vez por semana después de la ordeña. Para el periodo de evaluación de digestibilidad, los animales se pesaron al subir y al bajar de las jaulas metabólicas. La ganancia de peso ( $\text{g d}^{-1}$ ) se cuantificó por diferencia de peso final menos el inicial de cada periodo dividido por el número de días que duró el periodo. La producción (PL,  $\text{g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) y composición de la leche (% de grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales) se cuantificó dos veces por semana en ambas ordeñas durante los dos periodos de evaluación, utilizando el analizador de leche Lactoscan (modelo 5755, Milkotronic, Nova Zagora, Bg). Para cada cabra, la digestibilidad aparente de la dieta (%) y eficiencia alimenticia (%) se calculó de acuerdo con las ecuaciones (McDonald et al., 2002): Digestibilidad de la MS (%) =  $[(\text{consumo MS} - \text{MS excretado}) / \text{consumo MS}] \times 100$ , y Eficiencia alimenticia (%) =  $[\text{PL (g)} / \text{consumo MS (g)}] \times 100$ .

Los datos de las variables medidas fueron analizadas como medidas repetidas en el tiempo con un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos, incluyendo en el modelo el efecto de la fuente mineral (orgánico e inorgánico) y efecto de la raza (Alpina, Nubia, Sanen y Toggenburg) y su interacción. En los análisis estadísticos de producción de leche y componentes químicos de la leche, se usó la producción de leche de la semana previa al inicio de la suplementación mineral como covariable. Para los efectos significativos se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el procedimiento GLM de SAS (2014), de acuerdo con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + FM_i + R_j + FM_i * R_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde  $Y_{ij}$  es la variable de respuesta en la  $i$ -ésima cabra con  $j$ -ésima fuente mineral;  $\mu$  es la media general, común a todos los animales;  $FM_i$  es el efecto de la  $i$ -ésima fuente mineral;  $R_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima raza;  $FM_i * R_j$  es el efecto de la interacción entre la  $i$ -ésima fuente mineral y la  $j$ -ésima raza y  $\epsilon_{ijk}$  es el efecto aleatorio debido a la variabilidad individual dentro de cada tratamiento. Las diferencias fueron consideradas estadísticamente diferentes cuando  $P < 0.05$  y con tendencia a ser significativo cuando el valor de  $P$  fue alrededor de 0.10.

### 3.5 Resultados y discusión

En el Cuadro 11 se presenta el aporte mineral de la dieta ofrecida a los animales durante el estudio, los requerimientos minerales de cabras en lactancia de acuerdo con el NRC (2007) y el consumo de mineral de las cabras en cada tratamiento (T, OR, IN). Los animales en la dieta testigo consumieron ligeramente más Se, Mn, Fe y Co. A pesar de que éstos mismos tuvieron un menor consumo de Zn, Cu, y I que los requerimientos establecidos, Haenlein y Anke (2011) consideran que estos niveles son suficientes para no mostrar signos de deficiencia en cabras en lactancia.

Con la suplementación de microminerales de fuentes orgánicas (OR) e inorgánicas (IN) se corrigieron las deficiencias de Zn y Cu. El consumo de cada elemento mineral de los animales suplementados con OR e IN fue mayor a los requerimientos, pero la cantidad consumida fue muy inferior del nivel máximo tolerable considerado por el NRC (2007), lo mismo puede observarse al comparar los consumos de cada raza recibiendo las diferentes fuentes minerales (Cuadro 12).

Cuadro 11. Contenido mineral de la dieta experimental, requerimientos y consumo de microminerales por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicas e inorgánicas.

|                              | Se   | Cr   | Zn    | Cu   | Mn    | Fe  | I    | Co   |
|------------------------------|------|------|-------|------|-------|-----|------|------|
| DT, mg kg <sup>-1</sup> MS   | 0.36 | 0.26 | 30.8  | 9.5  | 43.8  | 193 | 0.21 | 0.28 |
| Req, mg día <sup>-1</sup>    | 0.57 | -    | 95.5  | 36.5 | 28.5  | 30  | 1.95 | 0.27 |
| CT, mg día <sup>-1</sup>     | 0.95 | 0.68 | 80.9  | 25.1 | 115.1 | 507 | 0.55 | 0.74 |
| COR, mg día <sup>-1</sup>    | 1.79 | 1.54 | 106.1 | 38.1 | 138.2 | 507 | 1.12 | 1.29 |
| CIN, mg día <sup>-1</sup>    | 1.86 | -    | 112.1 | 40.5 | 146.8 | 545 | 1.16 | 1.95 |
| NMax, mg/kg <sup>-1</sup> MS | 5    | -    | 300   | 60   | 2000  | 500 | 50   | 25   |

DT= contenido micromineral de la dieta testigo; Req= requerimiento micromineral de cabras en lactancia (NRC, 2007). CT= consumo de microminerales de los animales en el grupo testigo (T) considerando un CMS de 2627 g día<sup>-1</sup>; COR= consumo de microminerales de los animales en el grupo suplementado con fuentes orgánicas (OR) considerando un CMS de 2470 g día<sup>-1</sup>; CIN= consumo de microminerales de los animales en el grupo suplementados con fuentes inorgánicas (IN) considerando un CMS de 2667 g día<sup>-1</sup>. NMax= nivel máximo tolerable de acuerdo con el NRC, (2007).

Cuadro 12. Consumo de microminerales (mg día<sup>-1</sup>) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

| Mineral | Alpina |       |       |       | Nubia |       |       |       | Saanen |       |       |       | Toggenburg |       |       |       |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
|         | CMA    | T     | OR    | IN    | CMN   | T     | OR    | IN    | CMSa   | T     | OR    | IN    | CMT        | T     | OR    | IN    |
| Se      | 1.91   | 0.94  | 1.96  | 2.82  | 1.67  | 0.84  | 1.72  | 2.44  | 1.89   | 0.97  | 1.89  | 2.81  | 1.88       | 1.05  | 1.88  | 2.70  |
| Cr      | -      | 0.68  | 1.67  | -     | -     | 0.61  | 1.50  | -     | -      | 0.70  | 1.62  | -     | -          | 0.76  | 1.61  | -     |
| Zn      | 116.0  | 80.3  | 120.4 | 147.2 | 95.3  | 71.5  | 100.1 | 114.3 | 114.5  | 82.4  | 114.7 | 146.4 | 113.2      | 89.5  | 113.4 | 136.7 |
| Cu      | 41.6   | 24.9  | 43.0  | 57.0  | 35.2  | 22.1  | 36.7  | 46.8  | 41.2   | 25.5  | 41.2  | 56.8  | 40.8       | 27.7  | 40.8  | 53.8  |
| Mn      | 152.1  | 114.0 | 158.5 | 183.8 | 122.8 | 101.6 | 129.6 | 137.2 | 150.1  | 117.1 | 150.4 | 182.7 | 148.2      | 127.2 | 148.5 | 168.9 |
| Fe      | 568    | 503   | 596   | 606   | 439   | 448   | 469   | 400   | 559    | 516   | 561   | 601   | 551        | 561   | 552   | 540   |
| I       | 1.17   | 0.53  | 1.20  | 1.78  | 1.04  | 0.48  | 1.07  | 1.56  | 1.16   | 0.55  | 1.16  | 1.78  | 1.15       | 0.60  | 1.16  | 1.71  |
| Co      | 1.80   | 0.74  | 1.44  | 3.21  | 1.60  | 0.66  | 1.25  | 2.90  | 1.78   | 0.76  | 1.38  | 3.20  | 1.77       | 0.83  | 1.37  | 3.11  |

T= testigo; OR= orgánico; IN= inorgánico; CMA= consumo mineral promedio de cabras Alpina, considerando un CMS de 2606, 2937 y 2829 g para T, OR e IN, respectivamente; CMN= consumo mineral promedio de cabras Nubia, considerando un CMS de 2321, 2227 y 2829 g para T, OR e IN, respectivamente; CMSa= consumo mineral promedio de cabras Saanen, considerando un CMS de 2677, 2751 y 2804 g para T, OR e IN, respectivamente; CMT= consumo mineral promedio de cabras Toggenburg, considerando un CMS de 2907, 2707 y 2488 g para T, OR e IN, respectivamente.

Los valores de probabilidad obtenidos para las fuentes de variación usadas en los análisis de varianza de los datos de las variables evaluadas en el presente trabajo, se presentan en el Cuadro 13; en cuadros subsecuentes se muestran los valores promedio de los efectos principales y su interacción con la comparación de medias indicando en aquellas que se detectaron diferencias significativas.

Cuadro 13. Efectos y significancia de variables productivas medidas en cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

| Variable                      | P              |     |     |       |       |       |      |     |     |
|-------------------------------|----------------|-----|-----|-------|-------|-------|------|-----|-----|
|                               | Fuente mineral |     |     | Raza  |       |       | FM*R |     |     |
| Periodo en jaulas metabólicas |                |     |     |       |       |       |      |     |     |
| CMS <sup>1</sup>              | 0.8            |     |     | <0.01 |       |       | 0.4  |     |     |
| CMS <sup>2</sup>              | 0.5            |     |     | <0.01 |       |       | 0.9  |     |     |
| CMS <sup>3</sup>              | 0.6            |     |     | <0.01 |       |       | 0.9  |     |     |
| CMO <sup>1</sup>              | 0.8            |     |     | <0.01 |       |       | 0.4  |     |     |
| DMS <sup>4</sup>              | 0.05           |     |     | 0.8   |       |       | 0.09 |     |     |
| DMO <sup>4</sup>              | 0.05           |     |     | 0.9   |       |       | 0.07 |     |     |
| DPC <sup>4</sup>              | <0.01          |     |     | 0.7   |       |       | 0.1  |     |     |
| DFDN <sup>4</sup>             | 0.02           |     |     | 1.0   |       |       | 0.07 |     |     |
|                               | P1             | P2  | G   | P1    | P2    | G     | P1   | P2  | G   |
| Periodo en corrales           |                |     |     |       |       |       |      |     |     |
| CMS <sup>1</sup>              | 0.6            | 0.4 | 0.6 | 0.03  | 0.04  | 0.02  | 0.7  | 0.8 | 0.8 |
| CMS <sup>2</sup>              | 0.3            | 0.6 | 0.6 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.2  | 0.7 | 0.4 |
| CMS <sup>3</sup>              | 0.4            | 0.5 | 0.7 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.4  | 0.8 | 0.7 |
| PL <sup>1</sup>               | 0.4            | 0.8 | 0.7 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.6  | 0.8 | 0.7 |
| Grasa <sup>4</sup>            | 1.0            | 0.7 | 0.9 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.5  | 0.7 | 0.6 |
| Lactosa <sup>4</sup>          | 0.6            | 0.9 | 0.8 | 0.1   | 0.03  | 0.09  | 0.4  | 0.6 | 0.6 |
| Proteína <sup>4</sup>         | 0.6            | 0.8 | 0.7 | 0.07  | 0.01  | 0.04  | 0.5  | 0.7 | 0.6 |
| SNG <sup>4</sup>              | 0.6            | 0.8 | 0.7 | 0.04  | 0.02  | 0.04  | 0.5  | 0.8 | 0.7 |
| STot <sup>4</sup>             | 0.9            | 0.8 | 0.8 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.7  | 0.8 | 0.8 |

Continuación

|                   |     |     |     |       |       |       |     |     |      |
|-------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|------|
| FE <sup>5</sup>   | 0.3 | 0.3 | 0.3 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.3 | 0.4 | 0.3  |
| FE <sup>Z</sup>   | 0.4 | 0.5 | 0.4 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.2 | 0.5 | 0.4  |
| FE <sup>6</sup>   | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.2 | 0.2 | 0.07 |
| Cag <sup>7</sup>  | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.8 | 0.9 | 0.9  |
| Cag <sup>8</sup>  | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.03  | 0.04  | 0.03  | 0.6 | 0.7 | 0.7  |
| Cag <sup>9</sup>  | 0.6 | 0.7 | 0.8 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.8 | 0.9 | 0.9  |
| Cag <sup>10</sup> | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6   | 0.7   | 0.5   | 0.4 | 0.5 | 0.4  |

P= probabilidad, P1= 4-6 semanas en leche, P2= 7-10 semanas en leche, G= 4-10 semanas en leche, FM\*R= interacción fuente mineral\*raza, CMS= consumo MS, CMO= consumo MO, DMS= digestibilidad MS, DMO= digestibilidad MO, DPC= digestibilidad PC, DFDN= digestibilidad FDN, PL= producción de leche, SNG= sólidos no grasos, STot= sólidos totales, FE= eficiencia de utilización del alimento, Cag= consumo de agua, <sup>1</sup>= g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, <sup>2</sup>= kg 100 kg<sup>-1</sup> PV, <sup>3</sup>= g kg<sup>-1</sup> PV<sup>0.75</sup>, <sup>4</sup>= %, <sup>5</sup>= g de MS kg<sup>-1</sup> de leche, <sup>Z</sup>= g de leche kg<sup>-1</sup> de alimento, <sup>6</sup>= g STot 100 g<sup>-1</sup> de MS, <sup>7</sup>= kg animal<sup>-1</sup> día, <sup>8</sup>= g g<sup>-1</sup> de MS, <sup>9</sup>= g kg<sup>-1</sup> PV.

En el Cuadro 14 se muestran los valores promedio obtenidos en jaulas metabólicas para el consumo de MS y MO, los cuales no fueron diferentes (P>0.05) independientemente de la forma de expresión que se use entre los tratamientos y para la interacción tratamiento\*raza (FM\*R), sin embargo hubo diferencias entre razas (P<0.05). El consumo de MS y MO fue más bajo en las cabras Nubia, y no se observaron diferencias significativas entre las cabras Alpina, Saanen y Toggenburg. Los valores promedio de digestibilidad *in vivo* de la MS, MO, PC y FDN (Cuadro 14) se comportaron de manera similar (P>0.05) entre razas y para la interacción FM\*R, la DMS y MO fue mayor (P=0.05) en los animales suplementados, independientemente de la fuente mineral. La DPC para los animales suplementados con OR fueron 3.4 puntos porcentuales mejor que el grupo T y 2.4 mejor que los IN, de igual manera hubo diferencias entre tratamientos (P<0.05) al comparar la DFDN.

En este estudio, se observa mejores valores de digestibilidad al suplementar microminerales. Al respecto, Ospina et al. (2000) indica que la calidad de los minerales en el alimento influye en la degradación de los componentes nutritivos de la dieta, ya que estos elementos facilitan la actividad de los microorganismos en rumen para actuar más eficientemente en la degradación de la fibra, aumentando de esta manera la DMS. El papel de los minerales en

el rumen puede dividirse en funciones relacionadas con alteraciones en el ambiente ruminal, la sobrevivencia y crecimiento de los microorganismos, y con el metabolismo ruminal (Ospina, Campos, Sierra & Ximenes, 2007), por tanto, la combinación correcta de elementos minerales puede ser más beneficioso para tener un sistema exitoso de digestión anaerobia que suplementar elementos de manera independiente (Choong, Norli, Abdullah & Yhaya, 2016).

Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Pino y Heinrichs (2016) quienes no observaron diferencias significativas en la digestibilidad de la MS, FDN y FDA en vacas lecheras suplementadas con fuentes orgánicas e inorgánicas de Cu, Mn, Zn y Se (levaduras y sulfatos, respectivamente). Sin embargo, Cetz-Ucán et al. (2005), trabajando con ovinos, reportan mayor digestibilidad de MS, MO y PC al incluir en la dieta quelatos de dichos minerales que cuando se suministraron en forma de sulfatos.

Cuadro 14. Consumo voluntario de la materia seca y orgánica, y digestibilidad *in vivo* de la materia seca y orgánica, proteína cruda, y fibra detergente neutro en cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos en jaulas metabólicas.

|                                                                   | Raza              |                   |                   |                   | ESM                | P                  | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                                                                   | Alpina            | Nubia             | Saanen            | Toggenburg        |                    |                    | T              | OR   | IN   |      |     |
| Consumo de materia seca, g animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |      |     |
| T                                                                 | 2349              | 2067              | 2433              | 2571              | 188.9 <sup>Y</sup> | 0.4 <sup>X</sup>   | 2355           | 2276 | 2320 | 39.6 | 0.8 |
| OR                                                                | 2452              | 1532              | 2627              | 2493              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| IN                                                                | 2440              | 1867              | 2718              | 2253              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                                                              | 2414 <sup>a</sup> | 1822 <sup>b</sup> | 2593 <sup>a</sup> | 2439 <sup>a</sup> | 337.2 <sup>Z</sup> | <0.01 <sup>V</sup> |                |      |      |      |     |
| Consumo de materia seca, kg 100 kg <sup>-1</sup> de PV            |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |      |     |
| T                                                                 | 5.0               | 3.8               | 5.2               | 4.7               | 0.23 <sup>Y</sup>  | 0.9 <sup>X</sup>   | 4.5            | 4.7  | 4.4  | 0.16 | 0.5 |
| OR                                                                | 4.9               | 3.8               | 4.8               | 5.2               |                    |                    |                |      |      |      |     |
| IN                                                                | 4.8               | 3.6               | 4.6               | 4.5               |                    |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                                                              | 4.9 <sup>a</sup>  | 3.7 <sup>b</sup>  | 4.9 <sup>a</sup>  | 4.8 <sup>a</sup>  | 0.57 <sup>Z</sup>  | <0.01 <sup>V</sup> |                |      |      |      |     |
| Consumo de materia seca, g kg <sup>-1</sup> PV <sup>0.75</sup>    |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |      |     |
| T                                                                 | 131               | 103               | 136               | 127               | 4.7 <sup>Y</sup>   | 0.9 <sup>X</sup>   | 124            | 123  | 118  | 3.2  | 0.6 |
| OR                                                                | 130               | 95                | 131               | 138               |                    |                    |                |      |      |      |     |
| IN                                                                | 128               | 96                | 126               | 120               |                    |                    |                |      |      |      |     |

Continuación

|                                                                            |                   |                   |                   |                   |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--|------|------|------|------|------|
| Raza                                                                       | 130 <sup>a</sup>  | 98 <sup>b</sup>   | 131 <sup>a</sup>  | 128 <sup>a</sup>  | 15.8 <sup>Z</sup>  | <0.01 <sup>V</sup> |  |      |      |      |      |      |
| <b>Consumo de materia orgánica, g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup></b> |                   |                   |                   |                   |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| T                                                                          | 2133              | 1874              | 2206              | 2333              | 168.2 <sup>Y</sup> | 0.4 <sup>X</sup>   |  | 2136 | 2064 | 2108 | 36.4 | 0.8  |
| OR                                                                         | 2225              | 1395              | 2376              | 2259              |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| IN                                                                         | 2214              | 1707              | 2459              | 2052              |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| Raza                                                                       | 2191 <sup>a</sup> | 1659 <sup>b</sup> | 2347 <sup>a</sup> | 2215 <sup>a</sup> | 302.1 <sup>Z</sup> | <0.01 <sup>V</sup> |  |      |      |      |      |      |
| <b>Digestibilidad, %</b>                                                   |                   |                   |                   |                   |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| Materia seca                                                               |                   |                   |                   |                   |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| T                                                                          | 73.4              | 71.8              | 72.1              | 73.8              | 1.4 <sup>Y</sup>   | 0.09 <sup>X</sup>  |  | 72.8 | 74.3 | 74.5 | 0.92 | 0.05 |
| OR                                                                         | 73.3              | 75.1              | 76.0              | 72.8              |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| IN                                                                         | 74.9              | 73.4              | 74.0              | 75.8              |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| Raza                                                                       | 73.9              | 73.4              | 74.0              | 74.1              | 0.29 <sup>Z</sup>  | 0.8 <sup>V</sup>   |  |      |      |      |      |      |
| Materia Orgánica                                                           |                   |                   |                   |                   |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| T                                                                          | 75.2              | 73.8              | 73.9              | 75.7              | 1.3 <sup>Y</sup>   | 0.07 <sup>X</sup>  |  | 74.7 | 76.1 | 76.2 | 0.8  | 0.05 |
| OR                                                                         | 75.3              | 76.8              | 77.7              | 74.6              |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| IN                                                                         | 76.6              | 75.1              | 75.6              | 77.3              |                    |                    |  |      |      |      |      |      |
| Raza                                                                       | 75.7              | 75.2              | 75.8              | 75.9              | 0.3 <sup>Z</sup>   | 0.9 <sup>V</sup>   |  |      |      |      |      |      |

Continuación

Proteína Cruda

|      |      |      |      |      |                  |                  |                   |                   |                   |     |       |
|------|------|------|------|------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-------|
| T    | 73.9 | 72.3 | 72.6 | 74.2 | 1.3 <sup>Y</sup> | 0.1 <sup>X</sup> | 73.3 <sup>b</sup> | 74.3 <sup>b</sup> | 76.7 <sup>a</sup> | 1.7 | <0.01 |
| OR   | 73.4 | 74.8 | 76.1 | 72.  |                  |                  |                   |                   |                   |     |       |
| IN   | 77.2 | 75.7 | 76.4 | 77.8 |                  |                  |                   |                   |                   |     |       |
| Raza | 74.8 | 74.3 | 75.1 | 75.0 | 0.4 <sup>Z</sup> | 0.7 <sup>V</sup> |                   |                   |                   |     |       |

Fibra Detergente Neutro

|      |      |      |      |      |                  |                   |                   |                   |                    |     |      |
|------|------|------|------|------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----|------|
| T    | 70.4 | 68.5 | 68.7 | 70.8 | 1.6 <sup>Y</sup> | 0.07 <sup>X</sup> | 69.9 <sup>b</sup> | 71.8 <sup>a</sup> | 70.2 <sup>ab</sup> | 1.2 | 0.02 |
| OR   | 70.6 | 73.2 | 73.5 | 70.0 |                  |                   |                   |                   |                    |     |      |
| IN   | 70.6 | 69.5 | 69.3 | 71.5 |                  |                   |                   |                   |                    |     |      |
| Raza | 70.5 | 70.4 | 70.5 | 70.8 | 0.2 <sup>Z</sup> | 1.0 <sup>V</sup>  |                   |                   |                    |     |      |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>Y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FM\*R), <sup>Z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>X</sup>= P de FM\*R, <sup>V</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

El consumo de MS expresado en g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, porciento y g de MS kg<sup>-1</sup> de PV<sup>0.75</sup> durante los periodos experimentales se muestran en los Cuadros 15, 16 y 17, respectivamente. La fuente mineral y la interacción FM\*R no afectó significativamente ( $P>0.05$ ) el consumo de MS en las cabras durante los periodos uno, dos y general. La raza tuvo efecto significativo ( $P<0.05$ ), las cabras Alpina presentaron el mayor CMS, seguida por Saanen, Toggenburg y Nubia. Existen estudios cuyos resultados apoyan que las fuentes de microminerales no afectan notablemente el CMS en vacas lecheras (Bach et al., 2015; Gong et al., 2014; Hackbart et al., 2014; Pino & Heinrichs, 2016).

Los valores para consumo de materia seca en kg 100 kg<sup>-1</sup>de PV y g kg<sup>-1</sup> de PV<sup>0.75</sup>, presentados en los Cuadros 16 y 17 son similares a los reportados por Domínguez-Cerna (2015) y Huerta-Arias (2015) utilizando cabras y dietas con características similares a los utilizados en esta prueba. Galina, Palma, Morales, Aguilar y Hummel (1995) examinaron el consumo voluntario (CVO) de cabras en lactancia ( $55\pm 6.2$  kg de PV) con una dieta que aportaba 2.5 Mcal de EM kg<sup>-1</sup> de MS igual que la utilizada en este estudio, estos autores reportaron CVO de 2.4–2.8 kg de MS animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, 4.4-5.2 kg de MS 100 kg<sup>-1</sup> de PV y 120-140 g de MS kg<sup>-1</sup> de PV<sup>0.75</sup>, valores semejantes a los reportados en el presente trabajo.

El CMS en jaulas metabólicas para todos los tratamientos y razas, independientemente de la forma de expresión que se utilice fue menor respecto al periodo en corrales debido al estrés de los animales al espacio. Meisfjord, Lise y Egil (2007) realizaron un estudio en cabras en lactancia para examinar cómo el aumento del número de animales por corral (3 x 1.9 m) afecta el consumo de alimento, estos autores observaron que el consumo diario decreció significativamente de  $4.3\pm 0.15$  kg por cabra cuando ésta se encontraba en un corral individual a  $3.6\pm 0.16$  cuando había tres cabras por corral, 16.4% de reducción, el tiempo ocupado para comer decreció hasta 80% en la mayoría de las cabras alojadas en tríos, adicionalmente observaron que estos mismos animales presentaron interacciones más agresivas respecto a las alojadas en par e individuales.

Cuadro 15. Consumo de materia seca (g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza              |                   |                    |                    | ESM                | P                 | Fuente mineral |      |      | ESM   | P   |
|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|----------------|------|------|-------|-----|
|                       | Alpina            | Nubia             | Saanen             | Toggenburg         |                    |                   | T              | OR   | IN   |       |     |
| 4-6 semanas en leche  |                   |                   |                    |                    |                    |                   |                |      |      |       |     |
| T                     | 2556              | 2282              | 2745               | 2858               | 188.4 <sup>Y</sup> | 0.7 <sup>X</sup>  | 2610           | 2407 | 2504 | 88.5  | 0.6 |
| OR                    | 2740              | 1776              | 2729               | 2383               |                    |                   |                |      |      |       |     |
| IN                    | 2854              | 2123              | 2517               | 2521               |                    |                   |                |      |      |       |     |
| Raza                  | 2716 <sup>a</sup> | 2060 <sup>c</sup> | 2664 <sup>ab</sup> | 2588 <sup>b</sup>  | 258.4 <sup>Z</sup> | 0.03 <sup>V</sup> |                |      |      |       |     |
| 7-10 semanas en leche |                   |                   |                    |                    |                    |                   |                |      |      |       |     |
| T                     | 2636              | 2350              | 2594               | 2896               | 189.1 <sup>Y</sup> | 0.8 <sup>X</sup>  | 2619           | 2514 | 2792 | 130.2 | 0.4 |
| OR                    | 2894              | 1752              | 2845               | 2566               |                    |                   |                |      |      |       |     |
| IN                    | 2999              | 2391              | 2932               | 2846               |                    |                   |                |      |      |       |     |
| Raza                  | 2843 <sup>a</sup> | 2164 <sup>b</sup> | 2790 <sup>ab</sup> | 2769 <sup>ab</sup> | 270.1 <sup>Z</sup> | 0.04 <sup>V</sup> |                |      |      |       |     |
| 4-10 semanas en leche |                   |                   |                    |                    |                    |                   |                |      |      |       |     |
| T                     | 2606              | 2321              | 2677               | 2907               | 175.3 <sup>Y</sup> | 0.8 <sup>X</sup>  | 2627           | 2470 | 2667 | 94.5  | 0.6 |
| OR                    | 2829              | 1763              | 2804               | 2488               |                    |                   |                |      |      |       |     |
| IN                    | 2937              | 2277              | 2751               | 2707               |                    |                   |                |      |      |       |     |
| Raza                  | 2790 <sup>a</sup> | 2120 <sup>b</sup> | 2744 <sup>ab</sup> | 2700 <sup>ab</sup> | 266.4 <sup>Z</sup> | 0.02 <sup>V</sup> |                |      |      |       |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>Y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>Z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>X</sup>= P de FM\*R, <sup>V</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 16. Consumo de materia seca (kg 100 kg<sup>-1</sup> de PV) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza             |                  |                  |                  | ESM               | P                  | Fuente mineral |     |     | ESM  | P   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----|-----|------|-----|
|                       | Alpina           | Nubia            | Saanen           | Toggenburg       |                   |                    | T              | OR  | IN  |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |      |     |
| T                     | 5.5              | 4.3              | 5.9              | 5.2              | 0.44 <sup>Y</sup> | 0.2 <sup>X</sup>   | 5.2            | 4.9 | 4.8 | 0.21 | 0.3 |
| OR                    | 5.5              | 4.3              | 5.0              | 5.1              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| IN                    | 5.7              | 4.0              | 4.3              | 5.1              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 5.6 <sup>a</sup> | 4.2 <sup>b</sup> | 5.1 <sup>a</sup> | 5.1 <sup>a</sup> | 0.5 <sup>Z</sup>  | <0.01 <sup>V</sup> |                |     |     |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |      |     |
| T                     | 5.5              | 4.6              | 5.7              | 5.4              | 0.25 <sup>Y</sup> | 0.7 <sup>X</sup>   | 5.3            | 5.1 | 5.2 | 0.11 | 0.6 |
| OR                    | 5.6              | 4.1              | 5.1              | 5.4              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| IN                    | 5.8              | 4.4              | 4.9              | 5.7              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 5.7 <sup>a</sup> | 4.4 <sup>b</sup> | 5.2 <sup>a</sup> | 5.5 <sup>a</sup> | 0.53 <sup>Z</sup> | <0.01 <sup>V</sup> |                |     |     |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |      |     |
| T                     | 5.5              | 4.4              | 5.8              | 5.2              | 0.33 <sup>Y</sup> | 0.4 <sup>X</sup>   | 5.3            | 5.0 | 5.0 | 0.11 | 0.6 |
| OR                    | 5.6              | 4.2              | 5.1              | 5.3              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| IN                    | 5.8              | 4.2              | 4.7              | 5.5              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 5.6 <sup>a</sup> | 4.3 <sup>b</sup> | 5.2 <sup>a</sup> | 5.3 <sup>a</sup> | 0.52 <sup>Z</sup> | <0.01 <sup>V</sup> |                |     |     |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>Y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>Z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>X</sup>= P de FM\*R, <sup>V</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 17. Consumo de materia seca ( $\text{g kg}^{-1}$  de  $\text{PV}^{0.75}$ ) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza             |                  |                  |                  | ESM               | P                  | Fuente mineral |     |     | ESM | P   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|
|                       | Alpina           | Nubia            | Saanen           | Toggenburg       |                   |                    | T              | OR  | IN  |     |     |
| 4-6 semanas en leche  |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |     |     |
| T                     | 142              | 116              | 155              | 141              | 10.1 <sup>y</sup> | 0.4 <sup>x</sup>   | 138            | 130 | 128 | 4.7 | 0.4 |
| OR                    | 145              | 109              | 135              | 133              |                   |                    |                |     |     |     |     |
| IN                    | 152              | 107              | 119              | 135              |                   |                    |                |     |     |     |     |
| Raza                  | 147 <sup>a</sup> | 110 <sup>b</sup> | 136 <sup>a</sup> | 136 <sup>a</sup> | 13.1 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |     |     |
| 7-10 semanas en leche |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |     |     |
| T                     | 144              | 122              | 148              | 146              | 6.0 <sup>y</sup>  | 0.8 <sup>x</sup>   | 140            | 134 | 141 | 3.7 | 0.5 |
| OR                    | 150              | 106              | 139              | 141              |                   |                    |                |     |     |     |     |
| IN                    | 156              | 119              | 137              | 152              |                   |                    |                |     |     |     |     |
| Raza                  | 150 <sup>a</sup> | 115 <sup>a</sup> | 141 <sup>a</sup> | 146 <sup>a</sup> | 43.4 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |     |     |
| 4-10 semanas en leche |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |     |     |
| T                     | 144              | 119              | 151              | 143              | 7.4 <sup>y</sup>  | 0.7 <sup>x</sup>   | 139            | 133 | 135 | 2.8 | 0.7 |
| OR                    | 148              | 107              | 138              | 138              |                   |                    |                |     |     |     |     |
| IN                    | 154              | 114              | 129              | 145              |                   |                    |                |     |     |     |     |
| Raza                  | 149 <sup>a</sup> | 113 <sup>b</sup> | 139 <sup>a</sup> | 142 <sup>a</sup> | 13.8 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |     |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

La PL fue similar ( $P>0.05$ ) entre las cabras, independientemente si fueron o no suplementadas o la fuente de mineral (en los periodos uno, dos, y general); lo mismo fue observado para la interacción FM\*R. Entre las razas evaluadas hubo diferencias de PL ( $P<0.05$ ) en todos los periodos (Cuadro 18), la raza Toggenburg produjo 145, 382 y 1469 g día<sup>-1</sup> más que la Saanen, Alpina y Nubia, respectivamente. Semejante a lo reportado por Domínguez-Cerna (2015), quien observó que la raza Nubia de primer parto y con diez semanas en leche presentó 24% menos PL que la Saanen.

Gong et al. (2014) utilizaron Se en forma de selenito y levadura para suplementar vacas Holstein multíparas que tenían en promedio 150±10 días en leche. Los resultados indicaron que la concentración de Se en sangre y leche son mayores cuando los animales recibieron levaduras respecto al selenito, sin embargo, la FM no mostró efecto significativo sobre la PL. Resultados similares han sido reportados al comparar sulfatos y óxidos de Cu, Mn, Zn vs sus homólogos en forma de metal-metionina en vacas Holstein (Bach et al., 2015), sulfatos y óxidos vs metal-aminoácido y levadura en ovinos (Tovar-Luna et al., 2015).

Hackbart et al. (2014) suplementaron vacas Holstein desde 40 días antes del parto hasta el parto utilizando fuentes de Zn, Mn, y Co orgánicas (metal-aminoácido) e inorgánicas (óxidos y sulfatos), los resultados del estudio mostraron que la producción de leche no fue afectada por los tratamientos, sin embargo, cuando la analizaron por semana, las vacas que recibieron fuentes orgánicas tendieron a aumentar la producción en la semana 13 (42.2±1.3 vs 39.8±1.3 kg) y 14 (42.4±1.3 vs 39.4±1.4 kg) de lactancia, por su parte Pérez-Hernández (2014) observó que la complementación de levaduras conteniendo Se, Cu y Zn durante el periodo previo al parto incrementan la producción de leche en vacas. Nocek, Socha y Tomlinson (2006) suplementaron vacas lecheras con minerales orgánicos e inorgánicos (Zn, Mn, Cu y Co) durante dos lactancias, estos autores observaron un incremento en la producción de leche en la segunda respecto a la primera, en animales que recibieron elementos orgánicos. Al respecto, Hackbart et al. (2014) opinan que posiblemente la suplementación con microminerales orgánicos requiera cierta cantidad de tiempo antes que los resultados biológicos (PL en este caso) se observen.

Los Cuadros 19, 20, 21, 22 y 23 presentan la composición de la leche expresada en porcentaje, grasa, lactosa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales, respectivamente. No hubo diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre fuente mineral para ninguna de las variables anteriores en todos los periodos de evaluación, hubo efectos significativos ( $P<0.05$ ) entre razas en el contenido de grasa, proteína, sólidos no grasos y sólidos totales, la lactosa fue diferente ( $P<0.05$ ) únicamente en el segundo periodo. Las cabras Nubia presentaron la mayor concentración de componentes, seguida por Alpina y Saanen, la menor concentración la tuvo la Toggenburg. Para todas las variables no se observaron diferencias ( $P<0.05$ ) en la interacción FM\*R.

Observaciones donde la fuente mineral utilizada en ganado lechero no afectó la composición de la leche son reportados (Formigoni et al., 2011; Gong et al., 2014; Pino & Heinrichs, 2016, Siciliano-Jones, Socha, Tomlinson & DeFrain, 2008). Por su lado, Hackbart et al. (2014) observaron que vacas Holstein y Jersey suplementadas con sales orgánicas de Zn, Mn, Cu y Co tienden a tener mayor concentración de grasa en leche respecto a las suplementadas con complejos orgánicos, en el % de proteína no observaron diferencias. Por el contrario, Griffiths, Loeffler, Socha, Tomlinson y Johnson. (2007) y Nocek et al. (2006) reportaron que vacas recibiendo minerales de fuentes inorgánicas produjeron más grasa que las alimentadas con complejos aminoácidos.

En este estudio se observó que la Nubia presentó los menores CMS y PL por lo que es de esperarse que se promueva una mayor concentración de componentes en la leche, tal como lo reporta Domínguez-Cerna (2015), Huerta-Arias (2015), y Sung, Wu y Wang (1998). El grupo genético afecta las características de la curva de lactancia y composición de la leche (Montaldo, Almanza & Juárez. 1997). Gipson y Crossmam (1990) y Goetsch (2011) mencionan que las razas La Mancha y Nubia presentan menores rendimientos que Saanen y Toggenburg, y que el nivel de producción afecta la magnitud y persistencia de la curva de lactancia.

Cuadro 18. Producción de leche (g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza              |                   |                   |                   | ESM                | P                  | Fuente mineral |      |      | ESM   | FM  |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|------|------|-------|-----|
|                       | Alpina            | Nubia             | Saanen            | Toggenburg        |                    |                    | T              | OR   | IN   |       |     |
| 4-6 semanas en leche  |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |       |     |
| T                     | 3202              | 2746              | 3491              | 4124              | 340.9 <sup>y</sup> | 0.6 <sup>x</sup>   | 3390           | 3000 | 3064 | 186.5 | 0.4 |
| OR                    | 3364              | 1858              | 3704              | 3072              |                    |                    |                |      |      |       |     |
| IN                    | 3283              | 2065              | 3159              | 3746              |                    |                    |                |      |      |       |     |
| Raza                  | 3284 <sup>a</sup> | 2223 <sup>b</sup> | 3451 <sup>a</sup> | 3647 <sup>a</sup> | 548.8 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |       |     |
| 7-10 semanas en leche |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |       |     |
| T                     | 3169              | 2593              | 3353              | 3787              | 310.1 <sup>y</sup> | 0.8 <sup>x</sup>   | 3225           | 3050 | 3238 | 93.3  | 0.8 |
| OR                    | 3426              | 1765              | 3823              | 3184              |                    |                    |                |      |      |       |     |
| IN                    | 3338              | 2247              | 3515              | 3851              |                    |                    |                |      |      |       |     |
| Raza                  | 3311 <sup>a</sup> | 2202 <sup>b</sup> | 3563 <sup>a</sup> | 3607 <sup>a</sup> | 570.4 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |       |     |
| 4-10 semanas en leche |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |       |     |
| T                     | 3182              | 2659              | 3457              | 4095              | 567.3 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>   | 3347           | 3033 | 3165 | 130.1 | 0.7 |
| OR                    | 3400              | 1808              | 3783              | 3141              |                    |                    |                |      |      |       |     |
| IN                    | 3315              | 2169              | 3368              | 3807              |                    |                    |                |      |      |       |     |
| Raza                  | 3299 <sup>a</sup> | 2212 <sup>b</sup> | 3536 <sup>a</sup> | 3681 <sup>a</sup> | 328.1 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |       |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 19. Contenido de grasa (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                   |                   |                   | ESM               | P                  | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia             | Saanen            | Toggenburg        |                   |                    | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                   |                   |                   |                   |                    |                |      |      |      |     |
| T                     | 4.78               | 6.19              | 4.41              | 4.12              | 0.30 <sup>y</sup> | 0.5 <sup>x</sup>   | 4.87           | 4.91 | 4.88 | 0.03 | 1.0 |
| OR                    | 4.79               | 5.47              | 4.96              | 4.45              |                   |                    |                |      |      |      |     |
| IN                    | 4.50               | 6.22              | 4.75              | 4.04              |                   |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 4.69 <sup>b</sup>  | 5.96 <sup>a</sup> | 4.71 <sup>b</sup> | 4.20 <sup>b</sup> | 0.64 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                   |                   |                   |                   |                    |                |      |      |      |     |
| T                     | 4.24               | 5.52              | 3.98              | 3.63              | 0.20 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>   | 4.34           | 4.35 | 4.23 | 0.07 | 0.7 |
| OR                    | 4.14               | 4.96              | 4.47              | 3.84              |                   |                    |                |      |      |      |     |
| IN                    | 4.06               | 4.02              | 4.26              | 3.56              |                   |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 4.15 <sup>bc</sup> | 5.17 <sup>a</sup> | 4.24 <sup>b</sup> | 3.68 <sup>c</sup> | 0.55 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                   |                   |                   |                   |                    |                |      |      |      |     |
| T                     | 4.46               | 5.80              | 4.15              | 3.78              | 0.23 <sup>y</sup> | 0.6 <sup>x</sup>   | 4.55           | 4.59 | 4.50 | 0.05 | 0.9 |
| OR                    | 4.42               | 5.18              | 4.69              | 4.07              |                   |                    |                |      |      |      |     |
| IN                    | 4.25               | 5.54              | 4.46              | 3.76              |                   |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 4.38 <sup>b</sup>  | 5.51 <sup>a</sup> | 4.44 <sup>b</sup> | 3.87 <sup>b</sup> | 0.76 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 20. Contenido de lactosa (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                   |                    |                   | ESM               | P                 | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia             | Saanen             | Toggenburg        |                   |                   | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 3.57               | 3.77              | 3.65               | 3.59              | 0.08 <sup>y</sup> | 0.4 <sup>x</sup>  | 3.65           | 3.70 | 3.68 | 0.02 | 0.6 |
| OR                    | 3.73               | 3.78              | 3.73               | 3.54              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 3.80               | 3.63              | 3.71               | 3.59              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 3.70               | 3.73              | 3.70               | 3.58              | 0.06 <sup>z</sup> | 0.1 <sup>v</sup>  |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 3.52               | 3.72              | 3.59               | 3.55              | 0.05 <sup>y</sup> | 0.6 <sup>x</sup>  | 3.59           | 3.62 | 3.60 | 0.01 | 0.9 |
| OR                    | 3.65               | 3.70              | 3.64               | 3.48              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 3.64               | 3.67              | 3.57               | 3.52              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 3.60 <sup>ab</sup> | 3.70 <sup>a</sup> | 3.60 <sup>ab</sup> | 3.52 <sup>b</sup> | 0.07 <sup>z</sup> | 0.03 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 3.54               | 3.74              | 3.62               | 3.57              | 0.06 <sup>y</sup> | 0.6 <sup>x</sup>  | 3.62           | 3.65 | 3.64 | 0.02 | 0.8 |
| OR                    | 3.69               | 3.73              | 3.68               | 3.51              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 3.71               | 3.65              | 3.63               | 3.55              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 3.65               | 3.71              | 3.64               | 3.54              | 0.06 <sup>z</sup> | 0.09 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup> =ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 21. Contenido de proteína (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                   |                    |                   | ESM               | P                 | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia             | Saanen             | Toggenburg        |                   |                   | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 2.52               | 2.67              | 2.57               | 2.53              | 0.05 <sup>y</sup> | 0.5 <sup>x</sup>  | 2.57           | 2.60 | 2.58 | 0.02 | 0.6 |
| OR                    | 2.63               | 2.66              | 2.63               | 2.50              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 2.63               | 2.59              | 2.56               | 2.53              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 2.59               | 2.64              | 2.59               | 2.52              | 0.04 <sup>z</sup> | 0.07 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 2.48               | 2.62              | 2.53               | 2.48              | 0.03 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>  | 2.53           | 2.55 | 2.54 | 0.01 | 0.8 |
| OR                    | 2.57               | 2.61              | 2.57               | 2.45              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 2.56               | 2.59              | 2.51               | 2.48              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 2.54 <sup>ab</sup> | 2.61 <sup>a</sup> | 2.54 <sup>ab</sup> | 2.47 <sup>b</sup> | 0.05 <sup>z</sup> | 0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 2.50               | 2.64              | 2.55               | 2.52              | 0.04 <sup>y</sup> | 0.6 <sup>x</sup>  | 2.55           | 2.57 | 2.55 | 0.01 | 0.7 |
| OR                    | 2.60               | 2.63              | 2.59               | 2.47              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 2.59               | 2.59              | 2.53               | 2.50              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 2.56 <sup>ab</sup> | 2.62 <sup>a</sup> | 2.56 <sup>ab</sup> | 2.49 <sup>b</sup> | 0.04 <sup>z</sup> | 0.04 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 22. Contenido de sólidos no grasos (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                   |                    |                   | ESM               | P                 | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia             | Saanen             | Toggenburg        |                   |                   | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 6.78               | 7.19              | 6.92               | 6.81              | 0.12 <sup>y</sup> | 0.5 <sup>x</sup>  | 6.93           | 7.02 | 6.96 | 0.04 | 0.6 |
| OR                    | 7.09               | 7.18              | 7.08               | 6.71              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 7.08               | 6.98              | 6.95               | 6.81              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 6.99 <sup>ab</sup> | 7.12 <sup>a</sup> | 7.00 <sup>ab</sup> | 6.78 <sup>b</sup> | 0.12 <sup>z</sup> | 0.04 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 6.68               | 7.08              | 6.69               | 6.68              | 0.09 <sup>y</sup> | 0.8 <sup>x</sup>  | 6.78           | 6.85 | 6.83 | 0.03 | 0.8 |
| OR                    | 6.92               | 7.03              | 6.84               | 6.60              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 6.90               | 6.97              | 6.77               | 6.66              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 6.83 <sup>ab</sup> | 7.03 <sup>a</sup> | 6.77 <sup>ab</sup> | 6.65 <sup>b</sup> | 0.14 <sup>z</sup> | 0.02 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 6.73               | 7.13              | 6.80               | 6.73              | 0.09 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>  | 6.85           | 6.92 | 6.88 | 0.03 | 0.7 |
| OR                    | 7.00               | 7.10              | 6.94               | 6.65              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 6.98               | 6.98              | 6.85               | 6.73              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 6.90 <sup>ab</sup> | 7.07 <sup>a</sup> | 6.86 <sup>ab</sup> | 6.70 <sup>b</sup> | 0.12 <sup>z</sup> | 0.04 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 23. Contenido de sólidos totales (%) en la leche de cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                    |                    |                    | ESM               | P                  | Fuente mineral |       |       | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia              | Saanen             | Toggenburg         |                   |                    | T              | OR    | IN    |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                    |                    |                    |                   |                    |                |       |       |      |     |
| T                     | 11.56              | 13.38              | 11.34              | 10.93              | 0.25 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>   | 11.80          | 11.93 | 11.83 | 0.07 | 0.9 |
| OR                    | 11.88              | 12.65              | 12.04              | 11.17              |                   |                    |                |       |       |      |     |
| IN                    | 11.58              | 13.20              | 11.70              | 10.85              |                   |                    |                |       |       |      |     |
| Raza                  | 11.67 <sup>a</sup> | 13.08 <sup>b</sup> | 11.69 <sup>b</sup> | 10.98 <sup>b</sup> | 0.74 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |       |       |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                    |                    |                    |                   |                    |                |       |       |      |     |
| T                     | 10.91              | 12.60              | 10.67              | 10.31              | 0.25 <sup>y</sup> | 0.8 <sup>x</sup>   | 11.12          | 11.20 | 11.05 | 0.14 | 0.8 |
| OR                    | 11.06              | 12.00              | 11.31              | 10.44              |                   |                    |                |       |       |      |     |
| IN                    | 10.96              | 12.00              | 11.03              | 10.22              |                   |                    |                |       |       |      |     |
| Raza                  | 10.98 <sup>b</sup> | 12.20 <sup>a</sup> | 11.00 <sup>b</sup> | 10.32 <sup>b</sup> | 0.77 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |       |       |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                    |                    |                    |                   |                    |                |       |       |      |     |
| T                     | 11.19              | 12.93              | 10.95              | 10.52              | 0.24 <sup>y</sup> | 0.8 <sup>x</sup>   | 11.40          | 11.51 | 11.39 | 0.07 | 0.8 |
| OR                    | 11.41              | 12.28              | 11.63              | 10.72              |                   |                    |                |       |       |      |     |
| IN                    | 11.23              | 12.51              | 11.31              | 10.49              |                   |                    |                |       |       |      |     |
| Raza                  | 11.28 <sup>b</sup> | 12.58 <sup>a</sup> | 11.30 <sup>b</sup> | 10.58 <sup>b</sup> | 0.69 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |       |       |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

En los Cuadros 24, 25 y 26 se muestran los valores de eficiencia de utilización del alimento de cabras suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos, expresados en g de alimento por cada kg de leche producida (EF1), g de leche producida por cada kg de alimento consumido (EF2) y g de sólidos totales por cada 100 g de CMS (EF3), respectivamente. La fuente mineral no afectó la EF1, EF2 y EF3 ( $P>0.05$ ), la raza Toggenburg consumió significativamente ( $P<0.05$ ) menos alimento para producir un kg de leche, seguida por la Saanen, Alpina y Nubia en todos los periodos analizados. La raza no influyó significativamente ( $P>0.05$ ) en la EF2 en todos los periodos ni la interacción FM\*R en la eficiencia de utilización del alimento independientemente de la forma de expresión.

Pino y Heinrichs (2016) suplementaron vaquillas Holstein de  $15\pm 0.8$  meses de edad y  $438.3\pm 18$  kg de PV con proteínatos y sulfatos de Cu, Mn, Zn y Se, los resultados mostraron eficiencias similares entre tratamientos (10.7 y 10.8 kg de MS por kg ganancia de peso para la fuente orgánica e inorgánica, respectivamente). Por su lado, Yue et al. (2009) observaron mejor eficiencia alimenticia en respuesta a la suplementación con selenometionina (0.5-1 mg de MS) respecto a las cabras en crecimiento que no recibieron minerales.

Los valores de EF1 y EF2 observados en este estudio son similares a los reportados por Huerta-Arias (2015) en cabras Alpina, Nubia y Saanen durante las primeras 20 semanas de lactancia y Oliveira et al (2014) en cabras con PV promedio de 54.9. Lo anterior difiere de lo observado por López-Santiz (2017) quien reporta 1306 g de MS  $\text{kg}^{-1}$  de leche y 9.44 g de MS 100  $\text{g}^{-1}$  de CMS en cabras en lactancia avanzada (+24 semanas en leche).

Cuadro 24. Conversión alimenticia (g de alimento kg<sup>-1</sup> de leche) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza              |                  |                  |                  | ESM                | P                  | Fuente mineral |     |     | ESM   | P   |
|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|----------------|-----|-----|-------|-----|
|                       | Alpina            | Nubia            | Saanen           | Toggenburg       |                    |                    | T              | OR  | IN  |       |     |
| 4-6 semanas en leche  |                   |                  |                  |                  |                    |                    |                |     |     |       |     |
| T                     | 800               | 828              | 797              | 703              | 73.56 <sup>y</sup> | 0.3 <sup>x</sup>   | 782            | 842 | 859 | 36.17 | 0.3 |
| OR                    | 818               | 959              | 744              | 846              |                    |                    |                |     |     |       |     |
| IN                    | 888               | 1061             | 813              | 775              |                    |                    |                |     |     |       |     |
| Raza                  | 836 <sup>ab</sup> | 950 <sup>a</sup> | 785 <sup>b</sup> | 741 <sup>b</sup> | 78.56 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |       |     |
| 7-10 semanas en leche |                   |                  |                  |                  |                    |                    |                |     |     |       |     |
| T                     | 836               | 911              | 788              | 772              | 61.4 <sup>y</sup>  | 0.4 <sup>x</sup>   | 826            | 871 | 902 | 34.5  | 0.3 |
| OR                    | 851               | 1003             | 759              | 872              |                    |                    |                |     |     |       |     |
| IN                    | 920               | 1076             | 871              | 741              |                    |                    |                |     |     |       |     |
| Raza                  | 868 <sup>ab</sup> | 997 <sup>a</sup> | 806 <sup>b</sup> | 795 <sup>b</sup> | 81.2 <sup>z</sup>  | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |       |     |
| 4-10 semanas en leche |                   |                  |                  |                  |                    |                    |                |     |     |       |     |
| T                     | 822               | 875              | 787              | 722              | 64.0 <sup>y</sup>  | 0.3 <sup>x</sup>   | 802            | 857 | 882 | 34.3  | 0.3 |
| OR                    | 837               | 985              | 753              | 851              |                    |                    |                |     |     |       |     |
| IN                    | 906               | 1070             | 839              | 712              |                    |                    |                |     |     |       |     |
| Raza                  | 855 <sup>ab</sup> | 977 <sup>a</sup> | 793 <sup>b</sup> | 762 <sup>b</sup> | 81.2 <sup>z</sup>  | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |       |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 25. Eficiencia alimenticia (g de leche kg<sup>-1</sup> de alimento) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                   |                   |                   | ESM                | P                  | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia             | Saanen            | Toggenburg        |                    |                    | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |      |     |
| T                     | 1257               | 1209              | 1267              | 1439              | 94.9 <sup>y</sup>  | 0.2 <sup>x</sup>   | 1293           | 1217 | 1223 | 37.5 | 0.4 |
| OR                    | 1230               | 1046              | 1360              | 1231              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| IN                    | 1157               | 998               | 1245              | 1492              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 1215 <sup>ab</sup> | 1085 <sup>b</sup> | 1291 <sup>a</sup> | 1387 <sup>a</sup> | 111.8 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |      |     |
| T                     | 1216               | 1104              | 1287              | 1303              | 77.9 <sup>y</sup>  | 0.5 <sup>x</sup>   | 1227           | 1174 | 1153 | 34.6 | 0.5 |
| OR                    | 1182               | 998               | 1337              | 1179              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| IN                    | 1119               | 964               | 1171              | 1360              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 1172 <sup>ab</sup> | 1022 <sup>b</sup> | 1265 <sup>a</sup> | 1281 <sup>a</sup> | 104.5 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                   |                   |                   |                    |                    |                |      |      |      |     |
| T                     | 1231               | 1149              | 1286              | 1405              | 82.1 <sup>y</sup>  | 0.4 <sup>x</sup>   | 1268           | 1195 | 1185 | 37.4 | 0.4 |
| OR                    | 1202               | 1018              | 1346              | 1213              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| IN                    | 1135               | 978               | 1210              | 1417              |                    |                    |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 1190 <sup>ab</sup> | 1084 <sup>b</sup> | 1281 <sup>a</sup> | 1345 <sup>a</sup> | 109.3 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

Cuadro 26. Conversión alimenticia (g de sólidos totales 100 g<sup>-1</sup> de MS) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza   |       |        |            | ESM               | P                 | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------|-------|--------|------------|-------------------|-------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina | Nubia | Saanen | Toggenburg |                   |                   | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |        |       |        |            |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 14.5   | 16.2  | 14.4   | 15.7       | 1.27 <sup>y</sup> | 0.2 <sup>x</sup>  | 15.2           | 14.4 | 14.2 | 0.44 | 0.3 |
| OR                    | 14.6   | 13.2  | 16.3   | 13.6       |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 13.3   | 13.0  | 14.5   | 16.1       |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 14.1   | 14.1  | 15.0   | 15.1       | 0.56 <sup>z</sup> | 0.2 <sup>v</sup>  |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |        |       |        |            |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 13.2   | 13.9  | 13.8   | 13.4       | 0.94 <sup>y</sup> | 0.2 <sup>x</sup>  | 13.6           | 13.1 | 12.6 | 0.44 | 0.3 |
| OR                    | 13.1   | 12.0  | 15.0   | 12.2       |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 12.2   | 11.5  | 12.9   | 13.9       |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 12.8   | 12.5  | 13.9   | 13.1       | 0.56 <sup>z</sup> | 0.2 <sup>v</sup>  |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |        |       |        |            |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 13.7   | 14.9  | 14.1   | 14.8       | 1.06 <sup>y</sup> | 0.07 <sup>x</sup> | 14.4           | 13.7 | 13.3 | 0.45 | 0.2 |
| OR                    | 13.7   | 12.5  | 15.6   | 12.9       |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 12.7   | 12.1  | 13.7   | 14.8       |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 13.4   | 13.2  | 14.5   | 14.2       | 0.59 <sup>z</sup> | 0.1 <sup>v</sup>  |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

El consumo de agua expresado en diferentes unidades, presentado en los Cuadros 27, 28 y 29 no fue afectado ( $P>0.05$ ) por la fuente de microminerales utilizada en la suplementación o por la interacción FM\*R, pero si por la raza ( $P<0.05$ ) en todos los periodos y general, la Toggenburg fue la que consumió mayor cantidad de agua seguida por Saanen, Alpina y Nubia.

En el Cuadro 30 se presentan los valores promedio de consumo de agua expresado en  $\text{g g}^{-1}$  de leche producida, la cual no fue afectada significativamente ( $P>0.05$ ) por la fuente mineral, raza o por la interacción FM\*R ( $P<0.05$ ). El consumo de agua tendió a incrementar en el periodo dos, lo cual podría ser el resultado del incremento en el consumo de alimento y producción de leche.

Pino y Heinrichs (2016) evaluaron el efecto de microminerales de fuentes orgánicas (OTM) e inorgánicas (ITM) en ganado lechero de reemplazo, estos autores reportaron que el porcentaje de humedad en heces, la producción total de orina y el consumo de agua (Cag) fue mayor en los animales consumiendo ITM, sugiriendo que la diferencia en el Cag puede explicarse por la presencia de sales sulfato que estimulan este consumo a diferencia de la suplementación con OTM formulada con base en AA y levaduras. Similar a James y Butcher (1972) quienes examinaron el efecto del nivel de oxalato en dietas de ovinos, en este estudio se observó un incremento en el consumo de agua de 3.3 a 6.9  $\text{kg día}^{-1}$ , producción de orina de 1.2 a 4.5  $\text{kg día}^{-1}$  y contenido de humedad en heces de 37 a 49% cuando la dieta va de 0 a 6% de oxalato. Por otro lado, cuando el consumo de sulfatos disueltos en el agua incrementó de 52 a 120  $\text{g día}^{-1}$ , el consumo de agua y MS disminuyeron 36 y 29 %, respectivamente, en ganado Hereford en crecimiento (Weeth y Hunter, 1971).

En Bermejillo, Dgo., en cabras con más de 24 semanas en leche, recibiendo la misma cantidad de energía y PC que los animales usados en el presente trabajo, López-Santiz (2017) reporta valores de 5.3  $\text{g g}^{-1}$  de leche producida, 1100 g menos de PL que lo reportado en este estudio y un valor promedio de CMS semejante a lo observado en este trabajo que podría significar que los días en lactancia es un factor que afecta la eficiencia con la que la cabra usa el agua de bebida para PL.

Cuadro 27. Consumo de agua (kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza               |                  |                    |                   | ESM               | P                 | Fuente mineral |      |      | ESM  | P   |
|-----------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|------|------|------|-----|
|                       | Alpina             | Nubia            | Saanen             | Toggenburg        |                   |                   | T              | OR   | IN   |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                    |                  |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 9.8                | 7.3              | 10.2               | 12.0              | 0.84 <sup>y</sup> | 0.8 <sup>x</sup>  | 9.8            | 9.2  | 9.5  | 0.29 | 0.8 |
| OR                    | 10.4               | 6.1              | 10.9               | 9.5               |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 10.0               | 7.6              | 9.8                | 10.6              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 10.1 <sup>a</sup>  | 7.0 <sup>b</sup> | 10.3 <sup>a</sup>  | 10.7 <sup>a</sup> | 0.29 <sup>z</sup> | 0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                    |                  |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 10.9               | 7.9              | 10.7               | 12.7              | 0.93 <sup>y</sup> | 0.9 <sup>x</sup>  | 10.6           | 10.0 | 11.0 | 0.56 | 0.6 |
| OR                    | 11.2               | 6.0              | 11.7               | 11.1              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 10.9               | 9.5              | 11.8               | 12.5              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 11.0 <sup>ab</sup> | 7.8 <sup>b</sup> | 11.4 <sup>ab</sup> | 12.1 <sup>a</sup> | 1.73 <sup>z</sup> | 0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                    |                  |                    |                   |                   |                   |                |      |      |      |     |
| T                     | 10.4               | 7.6              | 10.6               | 12.7              | 0.83 <sup>y</sup> | 0.9 <sup>x</sup>  | 10.3           | 9.7  | 10.5 | 0.41 | 0.7 |
| OR                    | 10.9               | 6.1              | 11.3               | 10.4              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| IN                    | 10.5               | 8.7              | 10.9               | 11.7              |                   |                   |                |      |      |      |     |
| Raza                  | 10.6 <sup>a</sup>  | 7.5 <sup>b</sup> | 10.9 <sup>a</sup>  | 11.6 <sup>a</sup> | 1.59 <sup>z</sup> | 0.01 <sup>v</sup> |                |      |      |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05)

Cuadro 28. Consumo de agua (g g<sup>-1</sup> de CMS) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza              |                  |                   |                  | ESM               | P                 | Fuente mineral |     |     | ESM  | P   |
|-----------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----|-----|------|-----|
|                       | Alpina            | Nubia            | Saanen            | Toggenburg       |                   |                   | T              | OR  | IN  |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                   |                  |                   |                  |                   |                   |                |     |     |      |     |
| T                     | 3.8               | 3.2              | 3.7               | 4.2              | 0.21 <sup>y</sup> | 0.6 <sup>x</sup>  | 3.7            | 3.8 | 3.8 | 0.04 | 0.9 |
| OR                    | 3.8               | 3.4              | 4.0               | 3.8              |                   |                   |                |     |     |      |     |
| IN                    | 3.5               | 3.6              | 3.9               | 4.2              |                   |                   |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 3.7 <sup>ab</sup> | 3.4 <sup>b</sup> | 3.9 <sup>ab</sup> | 4.1 <sup>a</sup> | 0.25 <sup>z</sup> | 0.03 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                   |                  |                   |                  |                   |                   |                |     |     |      |     |
| T                     | 4.1               | 3.4              | 4.1               | 4.4              | 0.21 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>  | 4.0            | 3.9 | 4.0 | 0.06 | 0.8 |
| OR                    | 3.9               | 3.4              | 4.1               | 4.2              |                   |                   |                |     |     |      |     |
| IN                    | 3.6               | 3.9              | 4.0               | 4.3              |                   |                   |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 3.9 <sup>ab</sup> | 3.6 <sup>b</sup> | 4.1 <sup>ab</sup> | 4.3 <sup>a</sup> | 0.29 <sup>z</sup> | 0.04 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                   |                  |                   |                  |                   |                   |                |     |     |      |     |
| T                     | 4.0               | 3.3              | 3.9               | 4.3              | 0.20 <sup>y</sup> | 0.7 <sup>x</sup>  | 3.9            | 3.8 | 3.9 | 0.04 | 0.9 |
| OR                    | 3.8               | 3.4              | 4.0               | 4.0              |                   |                   |                |     |     |      |     |
| IN                    | 3.6               | 3.8              | 3.9               | 4.2              |                   |                   |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 3.8 <sup>ab</sup> | 3.5 <sup>b</sup> | 4.0 <sup>ab</sup> | 4.2 <sup>a</sup> | 0.25 <sup>z</sup> | 0.03 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup> =ESM del efecto raza (R). <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05)

Cuadro 29. Consumo de agua (g kg<sup>-1</sup> de PV) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza             |                  |                  |                  | ESM               | P                  | Fuente mineral |     |     | ESM  | P   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----|-----|------|-----|
|                       | Alpina           | Nubia            | Saanen           | Toggenburg       |                   |                    | T              | OR  | IN  |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |      |     |
| T                     | 206              | 137              | 220              | 215              | 14.1 <sup>y</sup> | 0.8 <sup>x</sup>   | 195            | 187 | 182 | 6.26 | 0.6 |
| OR                    | 208              | 144              | 197              | 199              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| IN                    | 203              | 142              | 169              | 213              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 206 <sup>a</sup> | 141 <sup>b</sup> | 196 <sup>a</sup> | 209 <sup>b</sup> | 25.5 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |
| 7-10 semanas en leche |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |      |     |
| T                     | 226              | 155              | 236              | 235              | 13.3 <sup>y</sup> | 0.9 <sup>x</sup>   | 213            | 200 | 208 | 6.49 | 0.7 |
| OR                    | 217              | 142              | 211              | 230              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| IN                    | 212              | 172              | 199              | 251              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 219 <sup>a</sup> | 157 <sup>b</sup> | 215 <sup>a</sup> | 239 <sup>a</sup> | 32.1 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |
| 4-10 semanas en leche |                  |                  |                  |                  |                   |                    |                |     |     |      |     |
| T                     | 218              | 149              | 230              | 226              | 12.8 <sup>y</sup> | 0.9 <sup>x</sup>   | 206            | 194 | 197 | 5.24 | 0.8 |
| OR                    | 213              | 144              | 203              | 216              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| IN                    | 208              | 159              | 185              | 235              |                   |                    |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 213 <sup>a</sup> | 151 <sup>b</sup> | 206 <sup>a</sup> | 226 <sup>a</sup> | 27.9 <sup>z</sup> | <0.01 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup> =ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05)

Cuadro 30. Consumo de agua (g g<sup>-1</sup> de leche producida) por cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana suplementadas con microminerales orgánicos e inorgánicos.

|                       | Raza   |       |        |            | ESM               | P                | Fuente mineral |     |     | ESM  | P   |
|-----------------------|--------|-------|--------|------------|-------------------|------------------|----------------|-----|-----|------|-----|
|                       | Alpina | Nubia | Saanen | Toggenburg |                   |                  | T              | OR  | IN  |      |     |
| 4-6 semanas en leche  |        |       |        |            |                   |                  |                |     |     |      |     |
| T                     | 3.1    | 2.7   | 3.0    | 2.9        | 0.26 <sup>y</sup> | 0.4 <sup>x</sup> | 2.9            | 3.1 | 3.2 | 0.14 | 0.3 |
| OR                    | 3.1    | 3.4   | 3.0    | 3.1        |                   |                  |                |     |     |      |     |
| IN                    | 3.1    | 3.8   | 3.1    | 2.8        |                   |                  |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 3.1    | 3.3   | 3.0    | 3.0        | 0.12 <sup>z</sup> | 0.6 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |
| 7-10 semanas en leche |        |       |        |            |                   |                  |                |     |     |      |     |
| T                     | 3.4    | 3.1   | 3.3    | 3.4        | 0.31 <sup>y</sup> | 0.5 <sup>x</sup> | 3.3            | 3.4 | 3.6 | 0.13 | 0.5 |
| OR                    | 3.3    | 3.5   | 3.1    | 3.5        |                   |                  |                |     |     |      |     |
| IN                    | 3.3    | 4.3   | 3.5    | 3.2        |                   |                  |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 3.3    | 3.6   | 3.3    | 3.4        | 0.13 <sup>z</sup> | 0.7 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |
| 4-10 semanas en leche |        |       |        |            |                   |                  |                |     |     |      |     |
| T                     | 3.3    | 2.9   | 3.1    | 3.1        | 0.28 <sup>y</sup> | 0.4 <sup>x</sup> | 3.1            | 3.3 | 3.4 | 0.12 | 0.5 |
| OR                    | 3.2    | 3.5   | 3.0    | 3.3        |                   |                  |                |     |     |      |     |
| IN                    | 3.2    | 4.1   | 3.3    | 3.1        |                   |                  |                |     |     |      |     |
| Raza                  | 3.2    | 3.5   | 3.1    | 3.2        | 0.14 <sup>z</sup> | 0.5 <sup>v</sup> |                |     |     |      |     |

T= testigo, OR= orgánico, IN= inorgánico, ESM= error estándar de la media, P= probabilidad, <sup>y</sup> = ESM de la interacción fuente mineral\*raza (FMxR), <sup>z</sup>=ESM del efecto raza (R), <sup>x</sup>= P de FM\*R, <sup>v</sup>= P de R. Medias seguidas con diferente letra en cada fila son diferentes (Tukey, P<0.05).

### **3.6 Conclusiones**

Los microminerales presentes en la dieta testigo son suficientes para satisfacer las necesidades de los animales usados en este estudio.

Cabras Alpina, Nubia, Saanen y Toggenburg en lactancia temprana recibiendo microminerales de fuentes orgánicas e inorgánicas tienen similar comportamiento productivo medido como consumo de materia seca y agua, producción y composición de la leche, y eficiencia de utilización del alimento.

Independientemente de la raza, las digestibilidades de las materias seca y orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro mejoran en cabras en lactancia temprana recibiendo microminerales en la dieta, sin diferencia entre fuentes.

### 3.7 Literatura citada

- Andrade-Montemayor, H. M. (2017). Producción de caprino en México. *In: VIII Foro Nacional del Caprino*. Pp. 24-27.
- ARC. (1980). The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth, Agriculture Bureaux, England.
- Bach, A., Pinto, A., & Blanch, M. (2015). Association between chelated trace mineral supplementation and milk yield, reproductive performance, and lameness in dairy cattle. *Livestock Science*, 82, 69-75, doi: 10.1016/j.livsci.2015.10.023.
- Bava, L., Rapetti, L., Crovetto, G. M., Tamburini, A., Sandrucci, A., Galassi, G., & Succi, G. (2001). Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *Journal of Dairy Science*, 84, 2450-2459.
- Blackwood, I. (2007). Mineral content of common ruminant stockfeeds, crops and pastures. Department of primary industries. Disponible en: [www.dpi.nsw.gov.au/reader/1201](http://www.dpi.nsw.gov.au/reader/1201). Consultada el 10 de febrero de 2018.
- Borucki C., S. I., Lacasse, P., Fouquet, A., Beraldin, F., Robichaud, A., & Berthiaume. (2011). Short communication: feed iodine concentrations on farms with contrasting levels of iodine in milk. *Journal of Dairy Science*, 94, 4684-4689, doi: 10.3168/jds.2010-3714.
- Cetz-Ucán, F. H., Cervantes-Tun, J. L., Sauri-Duch, E., Bores-Quintero, R. A., & Castellanos-Ruelas, A. F. (2005). Effect of chelated microminerals in ruminant nutrition. *Livestock Research for Rural Development*. Disponible en <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd17/9/cetz17097.htm>. Consultada el 25 de mayo de 2017.
- Choong, Y. Y., Norli, I., Abdullah, A. Z., & Yhaya, M. F. (2016). Impacts of trace element supplementation on the performance of anaerobic digestion process: a critical review. *Bioresource Technology*, 209, 36-379, doi: 10.1016/j.biortech.2016.03.028.
- Cochran, R. C., & Galyean, M. L. (1994). Measurement of in vivo forage digestion by ruminants. *In: Fahey Jr., G. C., Moser, L. E., Mertens, D. R., Collins, M. (Eds.). Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. (pp. 613-463). Madison, WI.
- CONAGUA. (2016). Temperatura promedio a nivel nacional y por entidad federativa. Disponible en <http://smn.cna.gob.mx>. Consultada el 23 de mayo de 2017.
- Domínguez-Cerna, R. (2015). Estudio de la variación en la producción de leche, consumo de alimento, y peso vivo en cabras Alpinas, Nubi y Saanen. (Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.).
- Faulkner, M. J., St-Pierre, N. R., & Weiss, W. P. (2017). Effect of source of trace minerals in either forage – or by-product – based diets fed to dairy cows: 2. Apparent absorption and retention of minerals. *Journal of Dairy Science*, 100, 5368 – 5377, doi: 10.3168/jds.2016-12096.

- FEDNA. (2016). Tablas de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España.
- Formigoni, A., Fustini, M., Archetti, L., Emanuele, S., Sniffen, C., & Biagi, G., (2011). Effects of an organic source of cooper, manganese and zinc on dairy cattle productive performance, health status and fertility, *Animal Feed Science and Technology*, 164, 191-198, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.01.010.
- Fordyce, F. M. (2003). Database of the iodine content of food and diets populated with data from published literature. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.
- Galina, M., Palma, J. M., Morales, R., Aguilar, A., & Hummel, J. (1995). Voluntary intake by dairy goats grazing on rangeland or on agricultural by-products in Mexico, 15, 127-137.
- Galyean, M. L. (1997). Laboratory procedures in animal nutrition research. Department of Animal and Food Sciences. Texas Tech University, Lubbock, Tx.
- Gipson, T. A., & Grossman, M. (1990). Lactation curves in dairy goats: a review. *Small Ruminant Research*, 3, 383-396.
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). Forage fiber analysis: apparatus, reagents, procedures, and some applications. USDA-ARS Agricultural Handbook 379, Washington, DC.
- Goetsch, A. L., Zeng, S. S., & Gipson, T. A. (2011). Factors affecting goat milk production and quality. *Small Ruminant Research*, 101, 55-63, doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.09.025.
- Gong, J., Ni, L., Wang, D., Shi, B., & Yan, S. (2014). Effect of dietary organic selenium on milk selenium concentration and antioxidant and immune status in midlactation dairy cows. *Livestock Science*, 170, 84-90.
- Griffiths, L. M., Loeffler, S. H., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & Johnson, A. B. (2007). Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *Animal Feed Science and Technology*, 137, 69-83, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.10.006.
- Hackbart, K. S., Ferreira, R. M., Dietshe, A. A., Socha, M. T., Shaver, R. D., Wiltbank, M. C., & Fricke, P. M. (2014). Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 88, 3856-3870 doi: 10.2527/jas.2010-3055.
- Haenlein, G. F. W., & Anke, M. (2011). Mineral and trace element research in goats: a review. *Small Ruminant Research*, 95, 2-19, doi: 10.1016/j.smallrumres.2010.11.007.
- Haenlein, G. F. W., & Ramírez, R. G. (2007). Potential mineral deficiencies on arid rangelands for small ruminants with special reference to México.

*Small Ruminant Research*, 68, 35-41, doi:10.1016/j.smallrumres.2006.-09-.018.

- Hahn, M. H., Kuennen, R. W., Caruso, J. A., & Fricke, F. L. (1981). Determination of trace amounts of selenium in corn, lettuce, potatoes, soybeans and wheat by hydride generation/condensation and flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 29, 792-796.
- Hall, J. A., Bobe, G., Hunter, J. K., Vorachek, W. R., Stewart, W. C., Vanegas, J. A., Estill, C. T., Mosher, W. D., & Pirelli, G. J. (2013). Effect of feeding selenium-fertilized Alfalfa hay on performance of weaned beef calves. *Plos One*, 8, 1-8, doi: 10.1371/journal.pone.0058188.
- Huerta-Arias, A. (2015). Producción y composición de leche en cabras Alpina, Nubia y Saanen de primer parto y utilización del alimento. (Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.).
- James, L. F., & Butcher, J. E. (1972). Halogeton poisoning of sheep: effect of high level oxalate intake. *Journal of Animal Science*, 35, 1233-1238.
- Jiménez B., M. R., Braña V., D., Partida P., J. A., Alfaro R., R. H., Soto S., S., & Torres C., M. G. (2013). Evaluación de la calidad en la canal caprina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Juchitlán, Querétaro.
- López, M. C., & Fernández, C. (2013). Energy partitioning and substrate oxidation by Murciano-Granadina goats during mid lactation fed soy hulls and corn gluten feed blend as a replacement for corn grain. *Journal of Dairy Science*, 95, 4542-4552, doi: 10.3168/jds.2012-6473.
- López-Santiz, P. (2017). Comportamiento productivo de cabras en lactación avanzada alimentadas con dietas de diferente nivel de residuo seco de cervecería. (Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.).
- Lorenz, K. (1978). Selenium in wheats and commercial wheat flours. *Cereal Chemistry Journal*, 55, 287-294.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (2002). Nutrición animal. 6ª ed. Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- Meisfjord J., G. H., Lise A., I., & Egil B., K. (2007). Feed intake and social interactions in dairy goats – The effects of feeding space and type of roughage. *Applied Animal Behaviour Science*, 107, 239-251, doi: 10.1016/j.applanim.2006.10.007.
- Mertens, D. R., & Dado, R. G. (1993). System of equations for fulfilling net energy and absorbed protein requirements for milk component production. *Journal of Dairy Science*, 76, 3464-3478.
- Montaldo, H., Almanza, A., & Juárez, A. (1997). Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Ruminant Research*, 24, 195-202.
- NAS, NRC, & NCAN. (1964). Joint United States-Canadian tables of feed composition. National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D. C.

- Nocek, J. E., Socha, M. T., & Tomlinson, D. J. (2006). The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89, 2679-2693.
- NRC. (1981). Nutrient requirements of domestic animals. No 15. Nutrient of Goats: Angora, dairy, and meat goats in temperate and tropical countries. National Research Academic Press. Washington, D. C.
- NRC. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7 rev. National Research Academic Press. Washington, D.C.
- NRC. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Oliveira, T. S., Leonel, F. P., da Silva, C. J., Baffa, D. F., Pereira, J. C., & Zervoudakis, J. T. (2014). Factors affecting feed efficiency in dairy goats. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43, 524-529, doi: 10.1590/S1516-35982014001000003.
- Ospina P., H., Campos G., R., Sierra C., M. A., & Ximenes, R. (2007). Suplementación mineral-protéica en la cria bovina. *In XXXV Jornadas Uruguayas de Buiatría*, 7-9 junio 2007. Paysandú, Uruguay.
- Ospina P., H., Freitas S., P. G., Mohlbach P., F. R., Prates E., R., Barcellos J., O. J., Pavoni, T., & Chaves, L. (2000). Efecto de cuatro niveles de carboquelatos sobre el consumo y digestibilidad del heno de baja calidad en becerros. *In: Memorias del XXXVII reunión anual brasileña de Zootecnia*, Brazil.
- Pérez-Hernández, G. (2014). Complementación de Se, Cu y Zn orgánicos por inorgánicos en el parto y producción de leche de vacas Holstein-Friesian. (Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.).
- Pino, F., & Heinrichs, A. J. (2016). Effect of trace minerals and starch on digestibility and rumen fermentation in diets for dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99, 2797-2810, doi: 10.3168/jds.2015-10034.
- Rodríguez, V. A., Cravero, B. F., & Alonso, A. (2008). Proceso de elaboración de yogur deslactosado de leche de cabra. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 109-105.
- SIAP. (2016). Producción anual ganadera. Disponible en <https://www.gob.mx/si-ap/>. Consultada el 16 de noviembre de 2017.
- Siciliano-Jones, J. L., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & DeFrain, J. M. (2008). Effect of trace mineral source on lactation performance, claw integrity, and fertility of dairy cattle, *Journal of Dairy Science*, 91, 1985-1995, doi: 10.3168/jds.2007-0779.
- Spears, J. W. (2013). Advancements in ruminant trace mineral nutrition. *In: Cornell Nutrition Conference*. 22-24 October. East Syracuse, NY, USA.
- Spears, J. W., Lloyd, K. E., & Krafka, K. (2017). Chromium concentrations in ruminant feed ingredients. *Journal of Dairy Science*, 100, 2584-3590, doi: 10.3168/jds.2016-12153.

- Statistical Analysis System. (2014). SAS/STAT User's Guide (Release 9.4). Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc.
- Sung, Y. Y., Wu, T. I., & Wang, P. H. (1998). Evaluation of milk quality of Alpine, Nubian, Saanen and Toggenburg breeds in Taiwan. *Small Ruminant Research*, 33, 17-23.
- Tovar-Luna, I., Enríquez-Tómas, E., Santana-Rodríguez, M. L., & Jaimes-Jaimes, J. (2015). Comportamiento de ovejas lactantes suplementadas con minerales orgánicos y ganancia de peso de sus corderos. *In: Memoria de la XLIII Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria*, A. C. Montecillo, Méx., 20-30 de octubre 2015. Pp 112-115.
- UNAM. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta edición. Instituto de Geografía Universidad Autónoma de México. México, D.F.
- Van Soest, P. J., (2015). The detergent system for analysis of foods and feeds. In M. E. Van Amburgh, P. Uden & P. Robinson (Eds). Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Weeth, H. J., & Hunter, J. E. (1971). Drinking of sulfate-water by cattle. *Journal of Animal Science*, 32, 277-281.
- Yatoo, M. I, M., Saxena, A., Deepa, P. M., Habeab, B. P., Devi, S., Jatav, R. S., & Dimri, U. (2013). Role of trace elements in animals: a review. *Veterinary World*, 6, 963-9677.
- Yue, W., Zhang, C., Shi, L., Ren, Y. Jiang, Y., & Kleemann, D. O. (2009). Effect of supplemental selenomethionine on growth performance and serum antioxidant status in Taihang Black goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22, 365-370.
- Zaklouta, M., Hilali, M., Nefzaoui, A., & Haylani, M. (2011). Animal nutrition and product quality laboratory manual. ICARD, Aleppo, Syria.